GANBATTE

สรุปเนื้อหาและภาพ by พี่มุกและพี่ฟิว

● เจ้าของเพจ Lecture de book ●

เพจ Education ที่มียอดไลค์กว่า 2 แสนคน!!

BEST SELLER
พิมพ์ครั้งที่ 5

Lecture

สรุปเข้ม ชีวะ ม.ปลาย

โดย พี่มุก & พี่ฟิว
เพจ Lecture de book

Lecture

สรุปเข้ม ชีวะ ม.ปลาย

โดย พี่มุก & พี่ฟิว
เพจ Lecture de book

Lecture สรุปเข้มชีวะ ม.ปลาย

ผู้เขียน ภัทรมน วงศ์สังข์, ผัลย์ศุภา พรมแสง

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537
เลขมาตรฐานสากลประจำหนังสือ ISBN 978-616-8068-09-0

ภาพประกอบ ภัทรมน วงศ์สังข์

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ
National Library of Thailand Cataloging in Publication Data
ภัทรมน วงศ์สังข์.
Lecture สรุปเข้มชีวะ ม.ปลาย.-- กรุงเทพฯ : คาร์เปเดียมเมอร์, 2559.
392 หน้า. -- (Lecture).

1. ชีววิทยา-- การศึกษาและการสอน (มัธยมศึกษา). I. ผัลย์ศุภา พรมแสง , ผู้แต่งร่วม. I. ชื่อเรื่อง.
570.076
ISBN 978-616-8068-09-0

GANBATTE

จัดพิมพ์โดย

บริษัท คาร์เปเดียมเมอร์ จำกัด
285/33 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงบางขุนศรี
เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700
โทรศัพท์ 0-2840-4851
อีเมล editor@ganbattehouse.com
เว็บไซต์ www.ganbattehouse.com

จัดจำหน่ายทั่วประเทศโดย

บริษัท อมรินทร์ บุ๊ค เซ็นเตอร์ จำกัด
108 หมู่ที่ 2 ถนนบางกรวย-จงถนอม
ตำบลมหาสวัสดิ์ อำเภอบางกรวย
จังหวัดนนทบุรี 11130
โทรศัพท์ 0-2423-9999 โทรสาร 0-2449-9561-3
เว็บไซต์ www.nalin.com

ราคา 299 บาท

คำนำ

ชีววิทยา เป็นการศึกษาในทุกแง่มุมของสิ่งมีชีวิตเพื่อตอบข้อสงสัยต่างๆ ของมนุษย์ ทั้งโครงสร้าง องค์ประกอบ การดำรงชีวิต การเจริญเติบโต วิวัฒนาการ รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อม แม้กระทั่งความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตแต่ละกลุ่ม อีกทั้งยังครอบคลุมไปถึงการศึกษาสิ่งมีชีวิตในระดับโมเลกุลและอะตอมที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเซลล์

สำหรับหนังสือ Lecture สรุปเข้มชีวะ ม.ปลาย เล่มนี้ พี่มุกและพี่ฟิว เจ้าของเพจ Lecture de book เพจด้านการศึกษาชื่อดัง ซึ่งมียอดผู้ติดตามกว่า 200,000 คน ตั้งใจเขียนขึ้นมาบนพื้นฐานการเข้าใจต่อความต้องการของน้องๆ โดยนำเสนอเนื้อหาที่เป็นวิทยาศาสตร์มาผสานรวมกับพื้นฐานทางศิลปะ เพื่อให้เป็นหนังสือที่น่าอ่าน และเข้าใจง่าย ซึ่งพี่ๆ ทั้งสองคนเชื่อว่า ภาพเพียงหนึ่งภาพจะสามารถแทนความหมายได้นับพันคำ

หวังว่าหนังสือเล่มนี้ นอกจากจะช่วยให้น้องๆ อ่านเพลิน และได้ความรู้แล้ว ยังสามารถนำไปใช้กับการสอบทั้งในโรงเรียนและทุกสนามสอบได้ด้วยนะคะ พี่ๆ ขอเป็นกำลังใจให้น้องทุกคนค่ะ

กัมบัตเตะ!
กองบรรณาธิการ

สารบัญ

บทที่ 1	บทนำชีววิทยา	7
บทที่ 2	กล้องจุลทรรศน์	17
บทที่ 3	สารเคมีพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต	24
บทที่ 4	การจัดการพลังงานในสิ่งมีชีวิต	36
บทที่ 5	การหายใจระดับเซลล์	41
บทที่ 6	การสังเคราะห์ด้วยแสง	46
บทที่ 7	เซลล์	59
บทที่ 8	การแบ่งเซลล์	76
บทที่ 9	ระบบย่อยอาหาร	82
บทที่ 10	ระบบหายใจ	95
บทที่ 11	ระบบหมุนเวียนเลือด	104
บทที่ 12	ระบบน้ำเหลืองและระบบภูมิคุ้มกัน	125
บทที่ 13	ระบบขับถ่ายและการรักษาสมดุลภายในร่างกาย	132

บทที่ 14	ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก	147
บทที่ 15	ระบบการเคลื่อนที่	177
บทที่ 16	ระบบต่อมไร้ท่อ	194
บทที่ 17	ระบบสืบพันธุ์	209
บทที่ 18	การเจริญเติบโตของสัตว์	227
บทที่ 19	พฤติกรรมของสัตว์	239
บทที่ 20	โครงสร้างและการสืบพันธุ์ของพืช	250
บทที่ 21	กระบวนการทำงานของพืช	286
บทที่ 22	พันธุศาสตร์	293
บทที่ 23	อนุกรมวิธาน	319
บทที่ 24	นิเวศวิทยา	353
บทที่ 25	วิวัฒนาการ	373

BIOLOGY

บทที่ 1 บทนำชีววิทยา

'ชีววิทยา' คือ วิชาที่ศึกษาทุกๆ อย่างเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต ในบทนี้จะบอกว่า สิ่งมีชีวิตคืออะไร ชีววิทยาคืออะไร รวมถึงวิธีการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ศึกษาชีววิทยา

1. ภาพรวม

วิทยาศาสตร์

- มาจากภาษาละติน 'Scientia' แปลว่า ความรู้
- เป็นความรู้เกี่ยวกับเรื่องจริงที่เกิดในธรรมชาติ
- เป็นสิ่งที่เราอยากรู้เกี่ยวกับสิ่งที่เกิดขึ้นและใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Method) ช่วยในการศึกษา

ชีววิทยา (Biology)

- เป็นสาขาหนึ่งของวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ
- มาจากภาษากรีก 'Bios' แปลว่า ชีวิต และ 'Logos' แปลว่า การมีเหตุผล
- ศึกษาทุกๆ เรื่องของสิ่งมีชีวิตอย่างมีเหตุผล เช่น การทำงาน การเจริญเติบโต และวิวัฒนาการ ใช้ 'วิธีการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Method)' ในการศึกษาค้นคว้าอย่างมีเหตุผล ใช้เทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ช่วยในการศึกษาชีววิทยา เช่น กล้องจุลทรรศน์

สิ่งมีชีวิต

- เป็นหน่วยที่ต้องใช้พลังงานในการดำรงชีวิต โดยพลังงานนั้นเกิดจากปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์

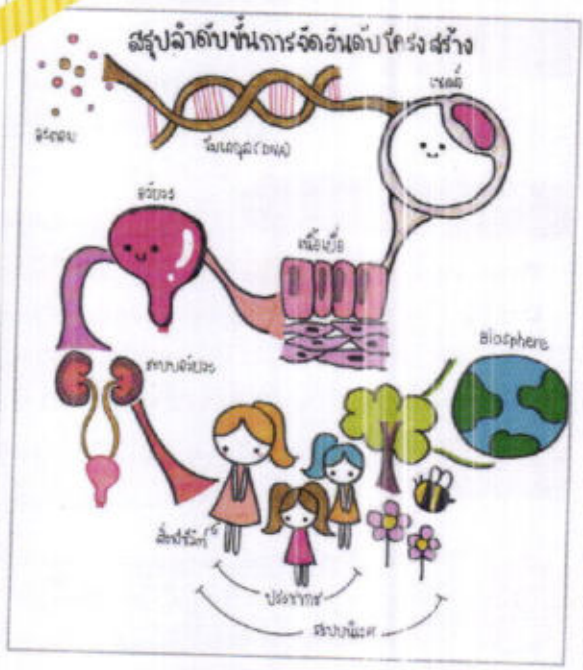
2. สมบัติของสิ่งมีชีวิต

มีการจัดอันดับโครงสร้างและหน้าที่อย่างเป็นระบบ (Specific Organization)

- สำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลกใบนี้ จะมีลำดับโครงสร้างที่เป็นระบบ โดยเริ่มจาก
  - อะตอม (Atom)
  - โมเลกุล (Molecule) ในทางชีววิทยาเรียกว่า 'ชีวโมเลกุล' เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน ดีเอ็นเอ อาร์เอ็นเอ วิตามิน เกลือแร่ และน้ำ
  - เซลล์ (Cell) เป็นหน่วยย่อยที่สุดที่แสดงสมบัติของสิ่งมีชีวิต และสามารถสืบพันธุ์ได้ โดยสิ่งมีชีวิตอาจประกอบด้วยเซลล์เพียงเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ก็ได้ เช่น สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว เซลล์กล้ามเนื้อ เซลล์พืช
  - เนื้อเยื่อ (Tissue) เกิดจากเซลล์หลายเซลล์มารวมกันกลายเป็นเนื้อเยื่อเพื่อทำหน้าที่ต่างๆ

- อวัยวะ (Organ) เกิดจากเนื้อเยื่อหลายเนื้อเยื่อมารวมกันเพื่อทำหน้าที่ต่างๆ
- ระบบอวัยวะ (Organ System) ประกอบด้วยอวัยวะหลายอวัยวะมาทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ เช่น ระบบขับถ่าย ระบบย่อยอาหาร

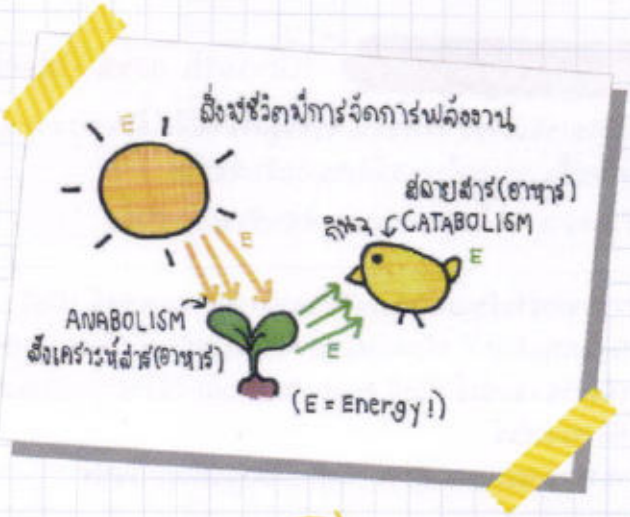
- สิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ (Multicellular Organism) ประกอบด้วยเซลล์หลายชนิดซึ่งประกอบกันขึ้นเป็นเนื้อเยื่อ เป็นอวัยวะ และเป็นระบบอวัยวะต่างๆ
- ประชากร (Population) คือ กลุ่มของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกัน อาศัยอยู่บริเวณเดียวกัน ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง
- กลุ่มสิ่งมีชีวิต (Community) คือ ประชากรของสิ่งมีชีวิตหลายๆ ชนิดที่อาศัยอยู่ในพื้นที่หนึ่งๆ
- ระบบนิเวศ (Ecosystem) คือ กลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่มีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม โดยทั้งคู่มีการแลกเปลี่ยนพลังงานและสสารซึ่งกันและกัน
- ชีวภาค หรือ ชีวมณฑล (Biosphere) รวมทุกระบบนิเวศบนโลก



มีการจัดการพลังงาน (Metabolism)

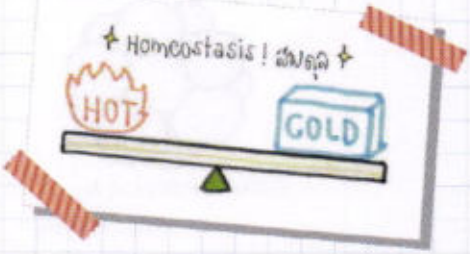
- โดยใช้กระบวนการ Metabolism ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกี่ยวกับการสร้างและใช้พลังงาน แบ่งออกเป็น

- แอนาบอลิซึม (Anabolism) คือ การสร้างสารโมเลกุลขนาดเล็กเป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่ เกิดการเก็บสะสมพลังงาน
- คาแทบอลิซึม (Catabolism) คือ การสลายสารโมเลกุลขนาดใหญ่เป็นสารโมเลกุลขนาดเล็ก เกิดการปลดปล่อยพลังงาน



มีการรักษาสมดุลภายในร่างกาย (Homeostasis)

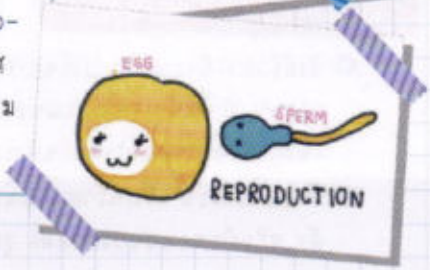
- เพื่อให้ร่างกายอยู่ในภาวะที่ปลอดภัย มีระดับของค่าต่างๆ ที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย เช่น ระดับความร้อน-ความเย็นในร่างกาย ความเป็นกรด-เบส ระดับออกซิเจน และฮอร์โมนต่างๆ



มีการสืบพันธุ์และมีพันธุกรรม (Reproduction and Heredity)

- เพื่อให้สามารถมีลูกหลานต่อไปได้ ไม่สูญพันธุ์ แบ่งออกเป็น

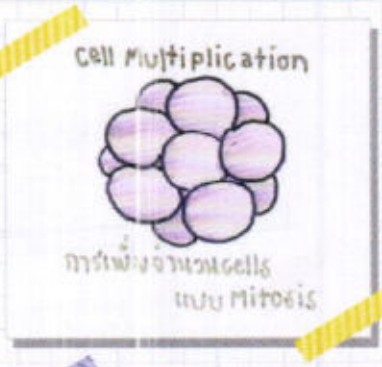
  - การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (Asexual Reproduction) ทำให้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ไม่มีความหลากหลายทางพันธุกรรม เช่น การแตกหน่อ การงอกใหม่
  - การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (Sexual Reproduction) ต้องอาศัยเซลล์สืบพันธุ์ของทั้งเพศผู้และเพศเมีย มีความหลากหลายทางพันธุกรรม เช่น การปฏิสนธิของมนุษย์



มีการเจริญเติบโตและมีพัฒนาการ (Growth and Development)

- หากเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว จะเริ่มจาก เซลล์ลูกขนาดเล็กได้รับสารอาหาร ทำให้รูปร่างเจริญเติบโตใหญ่ขึ้น กลายเป็นเซลล์ที่สามารถสืบพันธุ์ได้
- แต่ในสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์จะมีกระบวนการที่ซับซ้อนกว่า นั่นคือ

  - มีกระบวนการที่เรียกว่า 'การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเซลล์ (Cell Differentiation)' เพื่อความเหมาะสมในการทำหน้าที่เฉพาะอย่าง
  - การเพิ่มจำนวนเซลล์ (Cell Multiplication) เพื่อขยายขนาดและพื้นที่ผิวของเซลล์
  - การขยายขนาดตามความยาว (Cell Elongation) ในพืช



มีการตอบสนองต่อสิ่งเร้า (Response)

- สิ่งมีชีวิตจะมีความสามารถในการรับรู้ต่อสิ่งเร้าที่มากระทบ ทำให้เกิดการตอบสนองต่อสิ่งเร้านั้นๆ เพื่อความอยู่รอดและป้องกันตัวเองจากสิ่งที่อาจเป็นอันตราย เช่น เวลาเราตกใจแล้ววิ่งหนีเมื่อเกิดเสียงดัง หรือพืชตอบสนองต่อแสง อุณหภูมิ และความชื้น

มีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม (Interaction)

- สิ่งแวดล้อมเป็นสิ่งสำคัญต่อการมีชีวิตอยู่ของสิ่งมีชีวิต
- สิ่งมีชีวิตจึงมีการปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมตลอดเวลา เป็น 'ปฏิสัมพันธ์ระบบเปิด (Open System)' เช่น เมื่อสิ่งมีชีวิตรับพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ร่างกาย ก็จะมีการถ่ายเทของเสียกลับคืนสู่สิ่งแวดล้อม
- รวมถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งมีชีวิตด้วยกัน เช่น ปฏิสัมพันธ์แบบผู้ล่าและเหยื่อ

มีการปรับตัว (Adaptation)

- สิ่งมีชีวิตจะพยายามปรับตัวเพื่อให้สามารถอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่อาศัยได้
- เพื่อการอยู่รอดและการดำรงเผ่าพันธุ์ของตัวเองไว้
- เช่น เปลี่ยนแปลงรูปร่างบางอย่างเพื่อให้ใช้ชีวิตได้ง่ายขึ้น หรือเปลี่ยนสีผิวหนังเพื่อพรางตัว

3. การศึกษาชีววิทยา

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 'กระบวนการ (Process)' ที่จะนำไปสู่ 'ความรู้ (Knowledge)'

กระบวนการ (Process)

คือ การใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการค้นหาข้อเท็จจริงในเรื่องราวของธรรมชาติ

- การสังเกต (Observation)

> — การที่เราเห็นสิ่งต่างๆ จากธรรมชาติแล้วนำมารวบรวมเป็นข้อเท็จจริง
> — เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจริง และไม่ได้ใส่ความคิดเห็นหรืออคติของตัวเองลงไป

การกำหนดปัญหา (Problem)

- เมื่อได้รับรู้ข้อเท็จจริงแล้ว บางครั้งก็ทำให้เกิดคำถามหรือข้อสงสัยเกี่ยวกับข้อเท็จจริงเหล่านั้น เช่น การที่เราสังเกตเห็นอะไรบางอย่าง แต่มันดูไม่เหมือนกับสิ่งที่เราเคยรับรู้มาก่อน
- จึงเกิดคำถามขึ้นมาใหม่ โดยต้องเป็นคำถามที่เป็นวิทยาศาสตร์และสามารถพิสูจน์ได้

การตั้งสมมติฐาน (Hypothesis)

- เป็นการเดาคำตอบไว้ล่วงหน้า โดยต้องใช้เหตุผลมาประกอบ
- อาจถูกหรือผิดก็ได้ แต่ต้องมีความสัมพันธ์กับปัญหาที่เราตั้งไว้
- ส่วนมากมักขึ้นต้นด้วยคำว่า 'ถ้า.... ดังนั้น....' (แต่ไม่จำเป็นเสมอไป)

การตรวจสอบสมมติฐาน (Testing the Hypothesis)

- สามารถทำได้หลายวิธี เช่น

a. รวบรวมข้อมูล ข้อเท็จจริง ที่สามารถสังเกตได้จากธรรมชาติทั่วไป

b. ค้นคว้าจากเอกสารงานวิจัยหรือบันทึกผลทางสถิติที่เคยมีการศึกษาหรือรวบรวมเอาไว้ก่อนแล้ว

c. การทดลอง (Experiment) นิยมใช้กัน เพราะสามารถวางแผนและควบคุมปัจจัยต่างๆ ได้ ดังนี้

ตัวแปร (Variable) ได้แก่

1) ตัวแปรต้น หรือ ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
   - คือ สิ่งที่เป็นต้นเหตุทำให้เกิดผลการทดลองต่างๆ
   - เราสามารถจัดตัวแปรต้นให้แตกต่างกันได้ในการทดลอง

2) ตัวแปรตาม (Dependent Variable)
   - คือ สิ่งที่เป็นผลมาจากตัวแปรต้น หรือตัวแปรอิสระ
   - เป็นสิ่งที่เราต้องการทราบจากตัวแปรต้น หรือตัวแปรอิสระที่เราจัดไว้

3) ตัวแปรควบคุม (Controlled Variable)
   - สิ่งที่เราควบคุมให้เหมือนกันในแต่ละกลุ่มทดลอง
   - เป็นสิ่งที่อาจทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนหากไม่ได้ควบคุมไว้

- การวิเคราะห์และสรุปผล (Analysis and Conclusion)

  - เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบสมมติฐานด้วยวิธีต่างๆ มาหาความสัมพันธ์กัน
  - เพื่อตรวจสอบว่าตรงตามสมมติฐานที่เราตั้งไว้หรือไม่

  ตัวอย่าง

  a. ปัญหา ▶ น้ำตาลสามารถทำให้ดอกไม้ในแจกันคงความสดอยู่ได้นานขึ้นหรือไม่

  b. สมมติฐาน ▶ น้ำตาลมีผลต่อความสดของดอกไม้ในแจกัน

  c. ตัวแปรต้น ▶ น้ำตาลและน้ำเปล่า
  - กลุ่มที่แช่น้ำตาล ▶ เป็นกลุ่มทดลอง
  - กลุ่มที่แช่น้ำเปล่า ▶ เป็นกลุ่มควบคุม

  d. ตัวแปรตาม ▶ ความสดของดอกไม้

  e. ตัวแปรควบคุม ▶ ชนิดของดอกไม้ ขนาดของแจกัน ปริมาณน้ำ แสง อุณหภูมิ เวลาในการตัดดอกไม้

  f. ผลการทดลอง ▶ ดอกไม้ที่แช่ในน้ำใส่น้ำตาล สดได้นานกว่าดอกไม้ที่แช่น้ำเปล่าเฉยๆ

  g. วิเคราะห์และสรุปผล ▶ น้ำตาลทำให้ดอกไม้ในแจกันคงความสดอยู่ได้นานขึ้น

ความรู้ (Knowledge)

คือ ผลที่เราได้จากการศึกษาด้วยการใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์

- ข้อเท็จจริง (Fact)

  - สิ่งที่มีอยู่จริงตามธรรมชาติ
  - ได้มาจากการสังเกต บางครั้งก็อาจนำไปสู่การตั้งปัญหาใหม่ๆ ต่อไป

- ข้อมูล (Data)

  - ข้อเท็จจริงที่ได้มาจากการสังเกต
  - รวมถึงเอกสารงานวิจัยที่มีการรวบรวมไว้ และจากผลการทดลองต่างๆ

- ทฤษฎี (Theory)

  - ได้มาจากการทดลองสมมติฐานที่ตั้งไว้ซ้ำๆ หลายครั้ง จนกลายเป็นที่ยอมรับ
  - สามารถนำไปอธิบายปัญหาหรือคาดแนวโน้มผลการทดลองที่เกี่ยวข้องได้
  - บางครั้งอาจเปลี่ยนแปลงได้หากมีข้อมูลใหม่มาหักล้างทฤษฎีเก่า

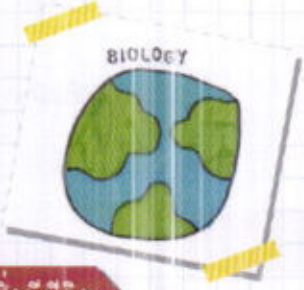
- กฎ (Law)

  - ทฤษฎีที่อยู่มานานมากและสามารถอธิบายในเรื่องนั้นๆ ได้อย่างมีเหตุผลจนไม่มีใครมาแย้งได้แล้ว
  - ไม่ว่าจะทำการทดลองหรือตรวจสอบกี่ครั้ง ก็จะได้ผลการทดลองที่เหมือนเดิมทุกอย่าง คือ เป็นจริงเสมอ

4. สาขาของชีววิทยา

สามารถแบ่งสาขาการศึกษาทางชีววิทยาออกมาคร่าวๆ ได้ดังนี้

สาขาที่ศึกษาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตในแต่ละกลุ่ม



- สัตววิทยา (Zoology) ศึกษาเกี่ยวกับสัตว์
- พฤกษศาสตร์ (Botany) ศึกษาเกี่ยวกับพืช
- จุลชีววิทยา (Microbiology) ศึกษาเกี่ยวกับจุลินทรีย์

สาขาที่ศึกษาเกี่ยวกับความเป็นมาและเรื่องราวของสิ่งมีชีวิต

- วิวัฒนาการ (Evolution) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตตั้งแต่อดีตกาล
- บรรพชีวินวิทยา (Paleontology) ศึกษารูปร่าง ลักษณะความเป็นอยู่ และวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต
- อนุกรมวิธาน (Taxonomy) ศึกษาการจัดหมวดหมู่ของสิ่งมีชีวิตอย่างเป็นระบบ

สาขาที่ศึกษาเกี่ยวกับหน้าที่และการทำงานของสิ่งมีชีวิต

- กายวิภาคศาสตร์ (Anatomy) ศึกษาโครงสร้างส่วนต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต
- วิทยาเซลล์ (Cytology) ศึกษาเซลล์
- พันธุศาสตร์ (Genetics) ศึกษาการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต
- สรีรวิทยา (Physiology) ศึกษาการทำงานของอวัยวะต่างๆ
- นิเวศวิทยา (Ecology) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตด้วยกันหรือสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อม

5. ชีวจริยธรรม

หมายถึง การกระทำที่มีคุณธรรม ไม่ทำร้ายหรือทำอันตรายต่อสัตว์หรือมนุษย์เพื่อการศึกษาหรือการวิจัย เช่น

การโคลนนิ่ง

โดยทั่วไปหมายถึง การคัดลอก หรือทำซ้ำให้เหมือนเดิมทุกอย่าง

- ปัจจุบันมีการทำการวิจัยที่จะทำการโคลนเพื่อสร้างเป็นอวัยวะทดแทนให้กับผู้ป่วย
- มีหลายประเทศที่ไม่สนับสนุน แต่ก็มีบางประเทศที่คล้ายจะสนับสนุน (แต่มันออกแนวผิดจริยธรรม)

การทำแท้ง

โดยทั่วไปแล้วตามหลักศีลธรรมอาจมองว่าการทำแท้งเป็นเรื่องที่ไม่ดี เป็นบาป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแต่ละวัฒนธรรม

๖. ชีววิทยากับการประยุกต์ใช้ในการดำรงชีวิต

ชีววิทยาเกี่ยวข้องกับการดำเนินชีวิตประจำวันของเรา หลายประการ เช่น

การปรับปรุงพันธุ์พืช เช่น การทำพืชดัดแปลงพันธุกรรม (GMOs) ทำให้เพิ่มรายได้ทางเศรษฐกิจ

ด้านนิติวิทยาศาสตร์ เช่น การตรวจ DNA เพื่อตรวจหาความสัมพันธ์ทางสายเลือด หรือใช้ในการตรวจหาผู้ร้าย

ด้านการแพทย์ เช่น การทำยีนบำบัด (Gene Therapy) คือการรักษาที่รักษาไปถึงระดับยีน

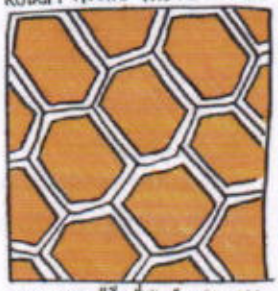
การช่วยผู้มีบุตรยาก เช่น

- การฉีดเชื้อผสมเทียมในโพรงมดลูก (Intrauterine Insemination หรือ IUI)
- การทำกิฟท์ (Gamete Intrafallopian Transfer หรือ GIFT)
  คือการนำเซลล์สืบพันธุ์ไปใส่ในท่อนำไข่
- การผสมเทียมในหลอดแก้วแล้วค่อยไปถ่ายฝากตัวอ่อน
  (In Vitro Fertilization Embryo Transfer หรือ IVF-ET)
- การทำซิฟท์ (Zygote Intrafollopain Transfer หรือ ZIFT)
  คือการนำไข่และอสุจิมาปฏิสนธิกันข้างนอกร่างกายก่อน
- การทำอิ๊กซี่ (Intracytoplasmic Sperm Injection หรือ ICSI)
  โดยฉีดเชื้ออสุจิที่แข็งแรงตัวเดียวเข้าไปในไข่โดยตรง

บทที่ 2 กล้องจุลทรรศน์

ในการศึกษาสิ่งมีชีวิตนั้น
เราจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่สำคัญนั่นก็คือ
'กล้องจุลทรรศน์'

Robert Hooke ค้นพบ cell ครั้งแรก



จากการดูเนื้อเยื่อไม้คอร์ก !!!

1. ภาพรวม

- แซคาเรียส แจนเซน (Zacharias Janssen) และฮันส์ แจนเซน (Hans Janssen) สามารถประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์เครื่องแรก ได้สำเร็จ
- แต่ รอเบิร์ต ฮุก (Robert Hooke) เป็นคนแรกที่ประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์ที่สามารถใช้ได้ดี (ชนิดเลนส์ประกอบ) ทำให้เขาค้นพบ 'เซลล์ (Cell)' จากการส่องดู เนื้อเยื่อไม้คอร์ก จึงถือว่าเป็นคนแรกที่ใช้คำว่า 'เซลล์' ในการศึกษาชีววิทยา
- กล้องจุลทรรศน์ช่วยให้การศึกษาทางชีววิทยาง่ายขึ้นมาก เพราะปกติสายตามนุษย์สามารถมองเห็นวัตถุได้เล็กสุดเพียงไม่เกิน 0.1 มิลลิเมตร

2. กล้องจุลทรรศน์แบบง่าย

(Simple Microscope / Magnifying Glass)
มีเลนส์เดี่ยว คือแว่นขยาย

แว่นขยาย

- มีเลนส์นูนอันเดียว
- มีกำลังขยายเพียง 20 – 30 เท่า
- ใช้ขยายของที่ต้องการดูให้ใหญ่ขึ้น
- ได้ภาพเป็นภาพเสมือน
- ใช้ดูลักษณะภายนอกของสิ่งมีชีวิต
- เวลาใช้ต้องถือให้ระยะห่างจากวัตถุน้อยกว่าระยะโฟกัส

3. กล้องจุลทรรศน์เชิงประกอบ

(Compound Microscope)
มีเลนส์ตั้งแต่ 2 อันขึ้นไป
แบ่งเป็น

แบบเชิงซ้อน (Compound Light Microscope)

- คุณสมบัติเด่น
  - มีเลนส์ 2 ชุด และมีกำลังขยายประมาณ 2,000 เท่า
  - เป็นกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่ดีที่สุดในปัจจุบัน

ส่วนประกอบ

ส่วนที่ทำหน้าที่ขยายภาพ

a. เลนส์ใกล้วัตถุ

- รับภาพจากสไลด์
- เลนส์นูนมีกำลังขยาย 4, 10, 40 และ 100 เท่า
- ถ้าใช้กำลังขยาย 100 เท่า ต้องใช้น้ำมันเป็นตัวกลางระหว่างสไลด์กับเลนส์ เพื่อให้เข้าใกล้วัตถุ เพราะเลนส์กับสไลด์จะอยู่ใกล้กันมาก
- ได้ภาพจริง หัวกลับ

b. เลนส์ใกล้ตา

- ขยายภาพจากเลนส์ใกล้วัตถุ
- เลนส์นูนมีกำลังขยาย 10, 15 และ 25 เท่า
- เลือกใช้ได้ตามต้องการ
- ได้ภาพเสมือนหัวกลับ

นี่คือภาพสุดท้ายที่เรามองเห็น

ส่วนที่เป็นตัวกล้อง

a. ลำกล้อง	เชื่อมเลนส์ตากับเลนส์วัตถุ ป้องกันแสงเข้า
b. แขนกล้อง	ใช้ยึดกล้องให้ติดกับฐาน
c. แท่นวางสไลด์	ใช้วางสไลด์
d. ที่หนีบสไลด์	เป็นแผ่นโลหะที่ยึดสไลด์ไว้ไม่ให้หลุด
e. จานหมุน	ใช้เปลี่ยนกำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุ
f. ฐาน	รับน้ำหนักกล้องทั้งหมด

ส่วนที่ปรับความคมชัด

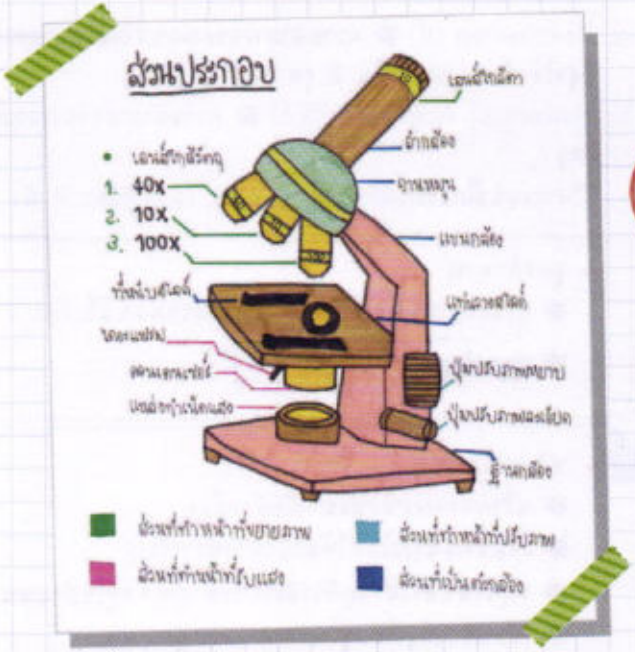
a. ปุ่มปรับภาพหยาบ	ใช้ปรับภาพให้คมชัดเมื่อหาระยะภาพที่จะโฟกัส ด้วยการเลื่อนลำกล้องหรือแท่นวางวัตถุขึ้นลง
b. ปุ่มปรับภาพละเอียด	ปรับความคมชัดเช่นเดียวกัน แต่มีช่วงการเลื่อนสั้นกว่า

ส่วนที่รับแสง

a. กระจกเงา	สะท้อนแสงให้เข้าไปในไดอะแฟรม
b. แหล่งกำเนิดแสง	ส่องแสงสว่างให้กล้อง
c. คอนเดนเซอร์	รวมแสงให้เข้มขึ้น (มีแค่บางรุ่น)
d. ไดอะแฟรม	ควบคุมปริมาณแสง เพื่อให้เห็นชัดขึ้น

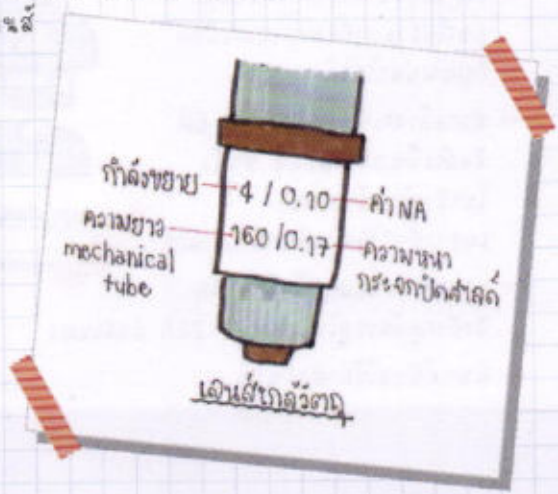
- หลักการทำงานอย่างง่าย

แสง
↓
เลนส์รวมแสง
↓
สไลด์
↓
เลนส์ใกล้วัตถุ
↓
เลนส์ใกล้ตา
↓
เกิดภาพ



- วิธีใช้
  - เวลาจับกล้องต้องใช้มือหนึ่งจับที่แขนกล้องอีกมือหนึ่งรองไว้ที่ฐาน
  - ให้วางไว้บนที่เรียบเสมอกัน เพราะต้องตั้งลำกล้องให้ตรงเสมอ
  - หมุนเลนส์ใกล้วัตถุให้เป็นกำลังขยายต่ำสุด
  - เปิดไฟ ปรับแสง ปรับกระจกเงาให้พอดี
  - หมุนปุ่มปรับภาพหยาบให้เลนส์ใกล้วัตถุลงมาอยู่ใกล้กระจกปิดสไลด์
  - ดูภาพด้วยเลนส์ใกล้ตาแล้วปรับด้วยปุ่มปรับภาพหยาบเพื่อหาระยะโฟกัส
  - ได้ระยะโฟกัสแล้วค่อยหมุนปุ่มปรับภาพละเอียดเพื่อให้ได้ภาพที่ชัดขึ้น
  - ถ้าอยากให้ภาพใหญ่ขึ้นให้เปลี่ยนเป็นเลนส์กำลังขยายสูงขึ้น แล้วปรับภาพด้วยปุ่มปรับภาพละเอียดเท่านั้น

- ความสามารถในการขยายภาพ
  - ขึ้นอยู่กับ 2 อย่างนี้



a. Resolution (R) ▶ ความสามารถของเลนส์ใกล้วัตถุของกล้องในการแยกจุด 2 จุดที่อยู่ใกล้กันที่สุดให้เห็นแยกออกเป็น 2 จุด

b. Numerical Aperture (NA) ▶ ความสามารถของเลนส์ใกล้วัตถุในการรวบแสงที่หักเหจากวัตถุ

หากเลนส์ใกล้วัตถุมีกำลังขยายเท่ากัน เลนส์ที่มีค่า R ต่ำ หรือ NA สูง จะส่องได้ดีกว่า

— สูตรคำนวณ

- ▶ กำลังขยายของภาพ = กำลังขยายของเลนส์ใกล้ตา x กำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุ
- ▶ ขนาดวัตถุจริง = $\frac{\text{ขนาดของภาพ}}{\text{กำลังขยาย}}$

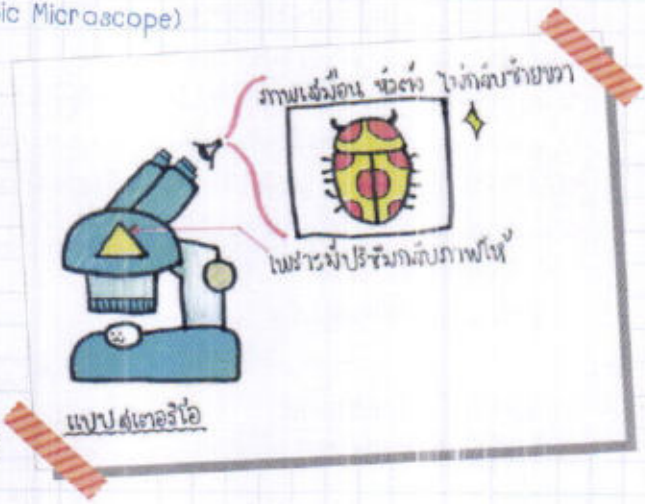
— หลังจากใช้เสร็จ

- ▶ ปรับกระจกเงาให้ตั้งฉากกับตัวกล้อง
- ▶ เลื่อนที่หนีบสไลด์ให้ตั้งฉากกับที่วางวัตถุ
- ▶ หมุนเลนส์ใกล้วัตถุที่กำลังขยายต่ำสุดให้อยู่ในตำแหน่งลำกล้อง
- ▶ เลื่อนลำกล้องให้อยู่ในตำแหน่งต่ำสุด
- ▶ สามารถเช็ดทำความสะอาดได้ โดยการเช็ดเลนส์ต้องใช้กระดาษเช็ดเลนส์เท่านั้น

แบบสเตอริโอ (Stereoscopic Microscope)

○ คุณสมบัติเด่น

- มีเลนส์ 2 ชุด เหมือนกันกับแบบเชิงซ้อน
- ใช้ดูวัตถุขนาดใหญ่ ทึบแสง และโปร่งแสงที่เผยรายละเอียดกับตาเปล่าไม่ได้
- ส่องแล้วจะเห็นเป็นภาพ 3 มิติ ชัดลึกเป็นภาพเสมือน หัวตั้ง ไม่กลับด้านซ้าย-ขวา เพราะมีปริซึมด้านในกลับภาพให้
- ระยะห่างจากเลนส์ใกล้วัตถุกับสิ่งที่จะดูต้องอยู่ในช่วง 63 – 225 มิลลิเมตร
- แพทย์นิยมใช้ผ่าตัดคนไข้



แบบสเตอริโอ

- วิธีใช้
  - กำหนดระยะห่างของเลนส์ใกล้ตาให้พอดีกับตาของผู้ใช้
  - ปรับระยะโฟกัสของเลนส์ใกล้ตาทีละข้าง
  - ถ้าอยากดูเฉพาะบางจุดของตัวอย่าง ให้ปรับระยะโฟกัสของเลนส์ใกล้วัตถุที่มีกำลังขยายสูง การทำแบบนี้เพื่อให้เห็นได้ชัดทั้งกำลังขยายต่ำและสูง

แบบดาร์กฟิลด์ (Dark Field Microscope)

- คุณสมบัติเด่น
  - ใช้ศึกษาวัตถุที่ไม่มีสี หรือย้อมติดสียาก เช่น สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่อยู่ในของเหลว
  - อาศัยหลัก 'การกระเจิงของแสง (Scattering)' แบบเลี้ยวเบนเข้าหาวัตถุในการทำงาน
  - ถ้ากล้องได้รับแสงอย่างเต็มที่จะทำให้ภาพของวัตถุตัดกับภาพของพื้นหลังอย่างชัดเจน
  - ภาพที่ได้จะเห็นเป็นจุดสว่างบนพื้นหลังทึบสีดำ (Dark Field Condenser)

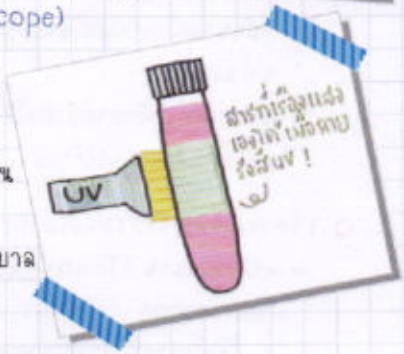
แบบเฟสคอนทรัสต์ (Phase Contrast Microscope)

- คุณสมบัติเด่น
  - ใช้ศึกษาสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ที่บาง โปร่งใส และไม่มีสี เช่น เซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่ใสโดยไม่ต้องย้อมสี
  - ใช้หลักการการหักเหของแสงสะท้อนหลังจากแสงส่องผ่านวัตถุ (Refractive Index) ในการทำงาน
  - ใช้อุปกรณ์พิเศษทำให้วัตถุและพื้นหลังแตกต่างกัน ทำให้สามารถแยกรายละเอียดลักษณะภายในได้ชัดเจน

ภาพจากกล้องแบบเฟสคอนทรัสต์

แบบฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence Microscope)

- คุณสมบัติเด่น
  - ใช้หาสารเรืองแสงที่เรืองแสงเองได้ หรือย้อมด้วยสีฟลูออเรสเซนซ์
  - เมื่อฉายรังสีอัลตราไวโอเลตลงไป จะทำให้มองเห็นสิ่งมีชีวิตนั้นชัดเจนในฉากมืด
  - นิยมใช้ในห้องวิจัยหรือห้องปฏิบัติการของโรงพยาบาล



แบบโพลาไรซ์ (Polarizing Microscope)

- คุณสมบัติเด่น
  - ใช้ศึกษาผลึก และเส้นใย เช่น เซลล์กล้ามเนื้อ แร่ธาตุต่างๆ
  - เพื่อดูโครงสร้างและการจัดเรียงตัวของเซลล์ว่าไปในทางใด
  - ใช้หลักการปรากฏการณ์ของคลื่นตามขวางของแสง (Polarized) ในการทำงาน

แบบใช้แสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet Microscope)

- คุณสมบัติเด่น
  - ใช้สำหรับตรวจหากรดนิวคลีอิก รวมทั้งกรดอะมิโนและโปรตีนบางชนิด
  - เลนส์ของกล้องทำจากควอตซ์ ทำให้แสงเข้าสู่กล้องได้มาก เห็นภาพได้ชัดเจน
  - ต้องบันทึกภาพไว้บนฟิล์ม เนื่องจากไม่สามารถมองเห็นแสงอัลตราไวโอเลตได้

แบบอิเล็กตรอน (Electron Microscope)

- จุดกำเนิด
  - มีการค้นพบว่า อิเล็กตรอนเคลื่อนที่คล้ายกับคลื่นแสง จึงนำมาใช้แทนแสงได้
  - เกิดเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงสุด 500,000 เท่า ทำให้ดูได้ถึงระดับโมเลกุล

- คุณสมบัติเด่น
  - เหมือนกับกล้องที่ใช้แสง แต่เลนส์รวมแสงเป็นเลนส์ที่เกิดจากแม่เหล็กไฟฟ้า
  - มีกำลังขยายสูง ทำให้สามารถส่องดูสิ่งที่มีขนาดเล็กมากสุดได้ประมาณ 0.5 นาโนเมตร
  - ตัวอย่างที่จะศึกษาต้องตัดให้บางมาก และย้อมสีก่อนการใช้งาน

- ชนิดของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
  - แบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope / TEM)
    a. ใช้ดูโครงสร้างภายในของสิ่งที่ศึกษา เช่น เยื่อหุ้มเซลล์ ผนังเซลล์
    b. ให้รายละเอียดสูงกว่าชนิดอื่นมาก มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 0.1 นาโนเมตร
    c. ตัวอย่างที่จะศึกษาต้องตัดให้แบนและบางมากเป็นพิเศษและอาจย้อมสีด้วย
    d. ได้ภาพออกมาเป็น 2 มิติ

- แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope / SEM)
  a. ใช้ดูพื้นผิวของสิ่งที่ต้องการจะศึกษา เช่น พื้นผิวนอกเนื้อเยื่อ
  b. มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร
  c. ใช้การส่องกราดของลำแสงอิเล็กตรอนไปบนผิวของวัตถุ
  d. ไม่ต้องเตรียมตัวอย่างให้บางเท่ากับเวลาดูด้วย TEM
  e. ได้ภาพออกมาเป็น 3 มิติ

4. เปรียบเทียบ

กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบเชิงซ้อน กับ กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ

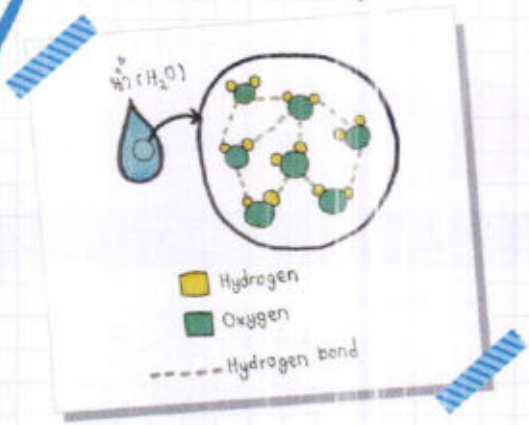
- กำลังขยาย
  - แบบเชิงซ้อน จะมีกำลังขยาย 1,000 เท่า แต่ไม่เกิน 2,000 เท่า
  - แบบสเตอริโอ มีกำลังขยายเพียง 80 – 200 เท่า เท่านั้น
- กำเนิดภาพ
  - แบบเชิงซ้อนเกิดจากการที่แสงส่องผ่านวัตถุที่ศึกษา
  - แบบสเตอริโอเกิดจากแสงส่องกระทบวัตถุที่ศึกษา แล้วจึงสะท้อนเข้าตาของเรา
- ภาพที่ได้
  - แบบเชิงซ้อน จะได้ภาพ 2 มิติ เป็นภาพเสมือน หัวกลับ
  - แบบสเตอริโอ จะได้ภาพ 3 มิติ เป็นภาพเสมือน หัวตั้ง

กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบเชิงซ้อน กับ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

- ตัวกลางที่ส่องผ่านวัตถุ
  - แบบใช้แสงจะใช้แสงธรรมดา
  - แบบอิเล็กตรอนจะใช้ลำแสงอิเล็กตรอน
- เลนส์ที่ใช้ขยาย
  - แบบใช้แสงจะใช้เลนส์ที่เป็นแก้ว
  - แบบอิเล็กตรอนจะใช้เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า
- ตัวกล้อง
  - แบบใช้แสงมีอากาศเข้าไปในกล้องได้
  - แบบอิเล็กตรอนต้องเป็นสุญญากาศ
- ภาพที่ได้
  - แบบใช้แสงจะได้ภาพ 2 มิติ เป็นภาพเสมือน หัวกลับ
  - แบบอิเล็กตรอนจะได้ภาพ 3 มิติ เป็นภาพจริง

บทที่ 3
สารเคมีพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต

ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดล้วนประกอบด้วยสารประกอบเคมี ซึ่งสารเคมีที่สำคัญเหล่านี้ ได้แก่ 'น้ำ' และ 'สารชีวโมเลกุล'



1. น้ำ

- น้ำเป็นส่วนประกอบของเซลล์มากกว่าร้อยละ 95
- มีสมบัติเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง และเปลี่ยนสถานะได้เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป
- เป็นตัวทำละลายที่ดีกับสารที่มีขั้ว
- พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกัน ทำให้น้ำสามารถลำเลียงต่อเนื่องเป็นสายยาวตามท่อได้

2. สารชีวโมเลกุล

สารชีวโมเลกุล หมายถึง สารอินทรีย์ = หมู่ฟังก์ชัน + สายไฮโดรคาร์บอน

ปฏิกิริยาที่ควรรู้
- Dehydration – สร้างพันธะ – เอาน้ำออก 1 โมเลกุล
- Hydrolysis – สลายพันธะ – ใช้น้ำ 1 โมเลกุล

หมู่ฟังก์ชัน
- กลุ่มอะตอมที่แสดงคุณสมบัติของสารอินทรีย์นั้น
- เป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยา เช่น Carboxyl, Carboryl, Hydroxyl, Amino, Phosphate, Sulfhydryl

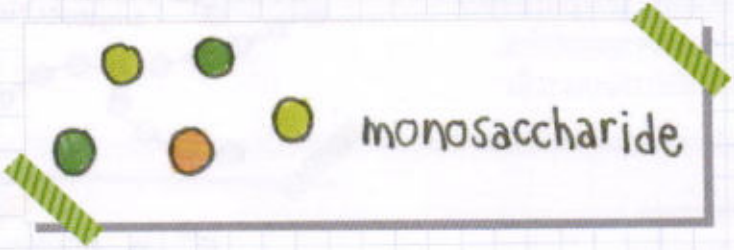
▸ หมู่ฟังก์ชัน function ◂

carboxyl	carbonyl	hydroxyl	amino	phosphate	sulfhydryl
$-\overset{O}{\overset{\|\|}{C}}-OH$	$-\overset{O}{\overset{\|\|}{C}}-H$ $-\overset{O}{\overset{\|\|}{C}}-$	$-OH$	$-\overset{H}{\overset{\|}{N}}-H$	$-O-\overset{O^-}{\overset{\|\|}{\underset{O}{\underset{\|}{P}}}}-O^-$	$-SH$

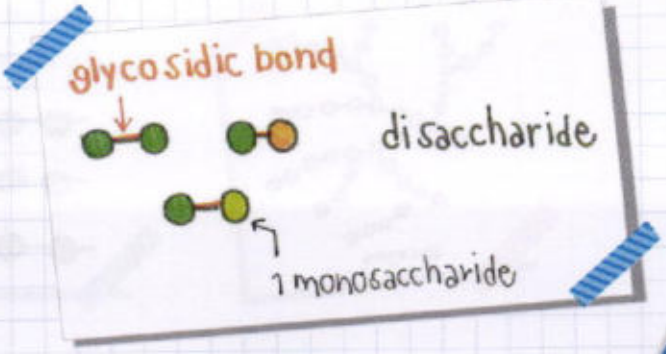
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

- ภาพรวม
  - เป็นสารให้พลังงานและเป็นโครงสร้างของเซลล์
  - ธาตุหลัก คือคาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) โดยอัตราส่วน
  - ระหว่างไฮโดรเจนและออกซิเจน ต้องเป็น 2:1 เสมอ ส่วนคาร์บอนจะเป็นจำนวนเท่าไรก็ได้
  - Monomer คือ Monosacharide
  - Polymer คือ Polysacharide
    พันธะที่ใช้ คือ 'พันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic Bond)'

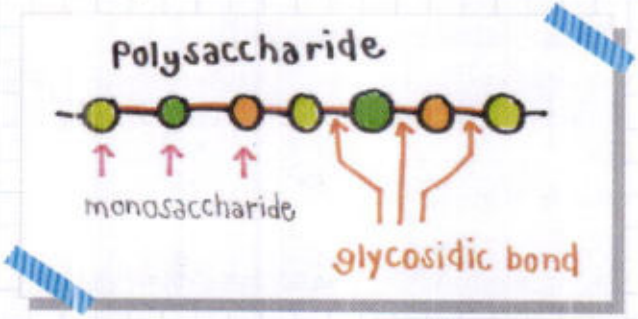
- แบ่งออกเป็น
  - น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) เป็นมอนอเมอร์ของคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่
    - กลูโคส (Glucose) >> เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญพบมากที่สุดในธรรมชาติ
    - ฟรุกโตส (Fructose) >> พบในผลไม้ น้ำผึ้ง และน้ำอสุจิ
    - กาแลกโตส (Galactose) >> พบในน้ำนม



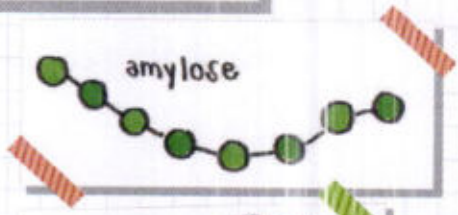
  - น้ำตาลโมเลกุลคู่ (Disaccharide) เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ยึดติดกันด้วยพันธะ 'Glycosidic Bond'
    - มอลโตส (Maltose) → ประกอบด้วย กลูโคส + กลูโคส → พบในข้าวมอลต์
    - แลกโตส (Lactose) → ประกอบด้วย กลูโคส + กาแลกโตส → พบในน้ำนม
    - ซูโครส (Sucrose) → ประกอบด้วย กลูโคส + ฟรุกโตส → พบในน้ำตาลอ้อย



— คาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ (Polysaccharide) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เกิดจากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมาเรียงต่อกันเป็นสายยาว ได้แก่

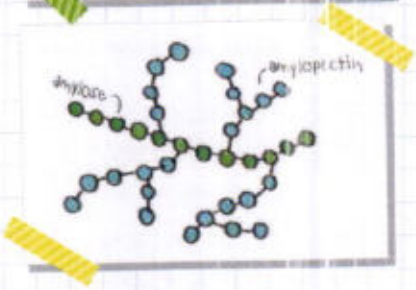


- อะไมโลส (Amylose)
  >> เป็นกลูโคสสายยาว ไม่มีการแตกกิ่งก้าน
  >> เป็นองค์ประกอบของแป้ง

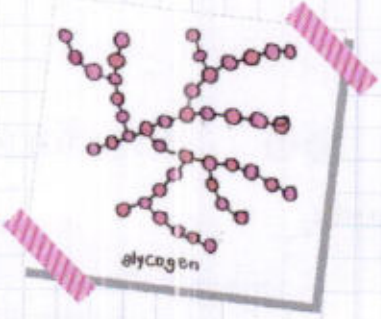


- อะไมโลเพกติน (Amylopectin)
  >> กลูโคสสายยาวแตกกิ่งก้าน
  >> เป็นองค์ประกอบของแป้ง

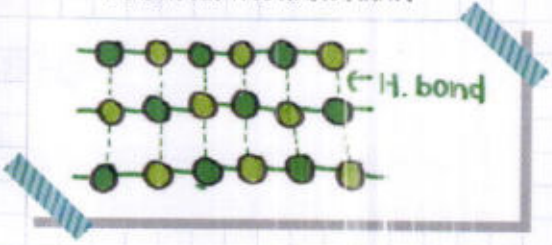
- แป้ง (Starch)
  >> ประกอบด้วย
  อะไมโลส + อะไมโลเพกติน



- ไกลโคเจน (Glycogen)
  >> เป็นแหล่งพลังงานสะสมในตับ



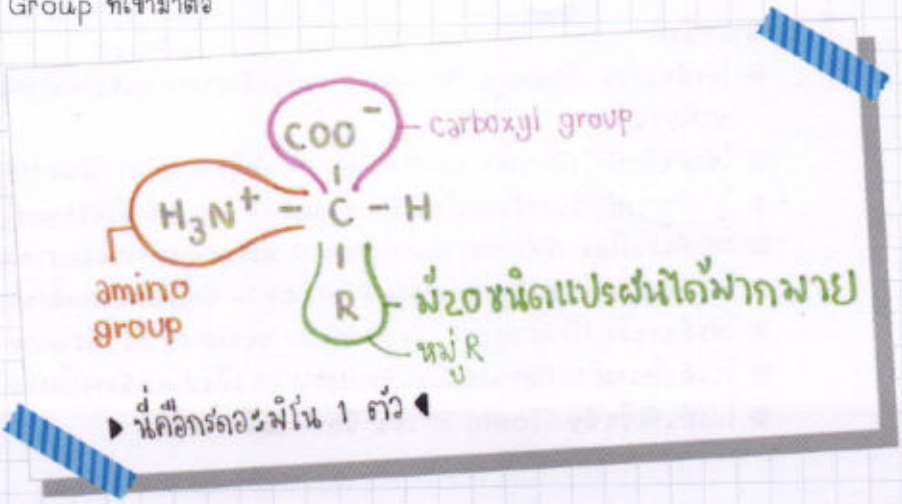
- เซลลูโลส (Cellulose)
  >> เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืช



- ประโยชน์ของคาร์โบไฮเดรต
  - เป็นแหล่งสะสมพลังงาน เช่น ในแป้ง และไกลโคเจน
  - ให้พลังงานระดับเซลล์ ได้มาจากกลูโคส (Glucose)
  - เป็นโครงสร้างของสิ่งมีชีวิต เช่น 'ไคติน (Chitin)' อยู่ในผนังเซลล์ (Cell wall) ของเห็ด รา และโครงร่างแข็งภายนอก (Exoskeleton) ของแมลง 'เซลลูโลส (Cellulose)' และ 'เพกติน (Pectin)' อยู่ในผนังเซลล์ (Cell wall) ของพืช

โปรตีน (Protein)

- ภาพรวม
  - เป็นโครงสร้างส่วนประกอบหลักของเซลล์ รวมถึงเนื้อเยื่อทุกชนิด
  - เป็นสารชีวโมเลกุลที่มีมากสุดในสิ่งมีชีวิต เพราะเป็นองค์ประกอบของเซลล์
  - ธาตุหลัก คือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N)
  - Monomer คือ Amino acid
  - Polymer คือ Polypeptide
  - พันธะที่ใช้ คือ 'พันธะเพปไทด์ (Peptide Bond)'
- กรดอะมิโน (Amino Acid)
  - เป็นหน่วยย่อยที่สุดของโปรตีน
  - ประกอบด้วยหมู่ Carboxyl และหมู่ Amino
    - เข้ามาต่อกับอะตอมคาร์บอน (C) ตรงกลาง
    - อะตอมคาร์บอน (C) ก็ต่ออยู่กับอะตอมไฮโดรเจน (H) และหมู่ R Group อีกหนึ่งหมู่
  - R Group มีทั้งหมด 20 ชนิด เพราะกรดอะมิโนจะเปลี่ยนไปตามสมบัติของ R Group ที่เข้ามาต่อ



- มีรูปร่างเป็นผลึกสีขาว สามารถละลายน้ำได้
- แบ่งออกเป็น
  - กรดอะมิโนจำเป็น (Essential Amino Acid) ไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ ต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น สำหรับเด็กต้องการ 10 ชนิด แต่เมื่อโตเป็นผู้ใหญ่จะต้องการเพียง 8 ชนิด เพราะสังเคราะห์เองได้
    ได้แก่ ไอโซลิวซีน (Isoleucine) ลิวซีน (Leucine) ไลซีน (Lysine) เมไทโอนีน (Methionine) ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) ทรีโอนีน (Threonine) ทริปโตเฟน (Tryptophan) วาลีน (Valine) อาร์จินีน (Arginine)*** และ ฮีสทิดีน (Histidine)***

***หมายเหตุ ต้องการเฉพาะในเด็ก

  - กรดอะมิโนไม่จำเป็น (Nonessential Amino Acid) สามารถสังเคราะห์เองได้ที่ตับ และมีปริมาณเพียงพอ มี 10 ชนิด

ประเภทของโปรตีน

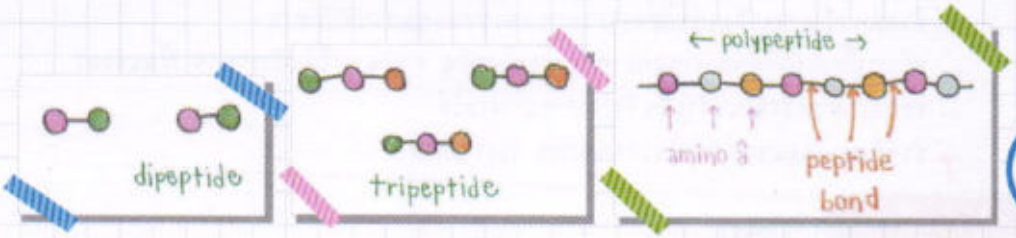
- แบ่งตามการขดและเรียงตัวของโปรตีน
  - โปรตีนก้อนกลม (Globular Protein)
    - เป็นสายเพปไทด์ที่มัวนพันกันแน่นจนขดเป็นก้อน มีแรงยึดระหว่างกัน ละลายในน้ำได้ดี เช่น เอนไซม์ ฮอร์โมนอินซูลิน และอัลบูมิน
  - โปรตีนเส้นใย (Fibrous Protein)
    - มีการเรียงตัวกันเป็นเส้นใยยาว เหนียว แข็งแรง ยืดหยุ่นดี แต่ละลายน้ำได้น้อย เช่น โปรตีนในเส้นผม และโปรตีนในเส้นไหม

- แบ่งตามหน้าที่
  - โปรตีนสะสม (Storage Protein) >> เป็นคลังอาหาร คอยสะสมธาตุต่างๆ ที่มีประโยชน์
  - โปรตีนป้องกัน (Protective Protein) >> ปกป้องร่างกายจากอันตรายจากเชื้อโรคต่างๆ
  - โปรตีนแรงปฏิกิริยาหรือเอนไซม์ (Enzyme) >> เร่งการทำปฏิกิริยาเคมีในร่างกาย
  - โปรตีนฮอร์โมน (Protein Hormone) >> ควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกาย
  - โปรตีนเคลื่อนไหว (Contractile Protein) >> ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว หรือเคลื่อนที่
  - โปรตีนขนส่ง (Transport Protein) >> ขนส่งสารต่างๆ ในร่างกาย
  - โปรตีนโครงสร้าง (Structural Protein) >> เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างในร่างกาย
  - โปรตีนที่เป็นพิษ (Toxin) >> เช่น พิษจากสัตว์บางชนิด

โครงสร้างของโปรตีน

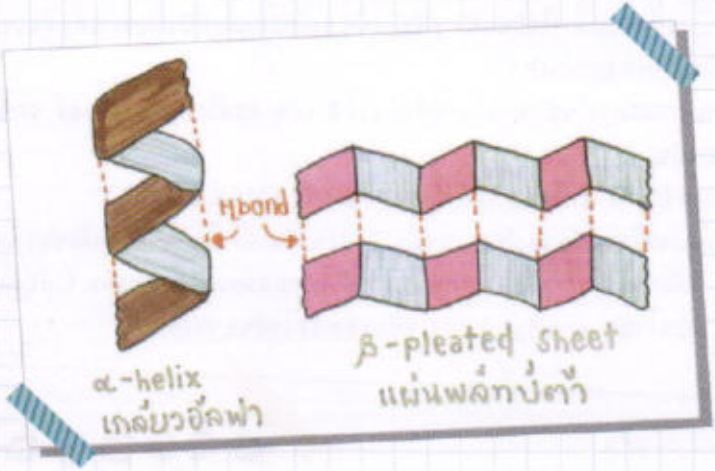
โครงสร้างปฐมภูมิ (Primary Structure)

- กรดอะมิโนมาเรียงต่อกันเป็นสายยาว เชื่อมกันด้วยพันธะเพปไทด์ (Peptide Bond)



โครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary Structure)

- เป็นสายของกรดอะมิโนปฐมภูมิที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond)



โครงสร้างตติยภูมิ (Tertiary Structure)

- คือโครงสร้างทุติยภูมิที่มัวนพับด้วยพันธะต่างๆ เช่น H-bond, Ionic Bond, Hydrophobic

โครงสร้างจตุรภูมิ (Quaternary Structure)

- คือโครงสร้างตติยภูมิที่มารวมกัน เช่น เฮโมโกลบิน หรือคอลลาเจน

** โปรตีนสามารถเสียสภาพทุติยภูมิ ตติยภูมิ และจตุรภูมิได้ หากได้รับความร้อน แรงดัน หรือกรด-เบส โดยมันจะไม่เสียสภาพปฐมภูมิไป**

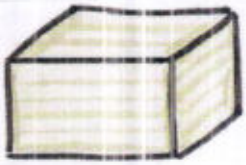
- ประโยชน์ของโปรตีน
  - ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของร่างกายและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ
  - สร้างกลูโคสเพื่อให้พลังงานแก่ร่างกาย โดยโปรตีน 1 กรัม จะให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี
  - ช่วยสร้างกรดอะมิโนที่จำเป็นซึ่งร่างกายสร้างไม่ได้
  - ช่วยรักษาสมดุลของเหลวในระบบต่างๆ ของร่างกาย

ไขมัน/ ลิพิด (Lipid)

- ภาพรวม
  - ไม่มีขั้ว ไม่ละลายน้ำ และไม่เป็น Polymer
  - Phospholipid (ไขมันชนิดหนึ่ง) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell Membrane)
  - สามารถละลายในตัวทำละลายตัวอื่นได้ดี เช่น คลอโรฟอร์ม อีเทอร์ อะซีโตน และเบนซีน
  - ธาตุหลัก คือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O)
  - ทุกโครงสร้างจะมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ กรดไขมัน และกลีเซอรอล
    a. กลีเซอรอล (Glycerol) เป็นสารจำพวกแอลกอฮอล์ สูตรคือ $C_3H_8O_3$
    b. กรดไขมัน (Fatty Acid) ชนิดของกรดไขมันแบ่งได้ดังนี้

- แบ่งตามระดับความอิ่มตัว
  - กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid)
    - มีพันธะที่ต่อระหว่างคาร์บอนทุกพันธะเป็น 'พันธะเดี่ยว (Single Bond)' เท่านั้น
    - ไฮโดรเจนจับคาร์บอนอยู่แน่น ทำให้ไม่สามารถรับไฮโดรเจนเพิ่มเข้าไปในโมเลกุลได้อีก
    - จุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว มักกลายเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เช่น ไขมันสัตว์

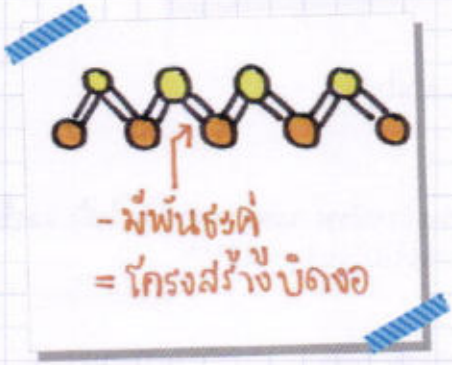
พันธะเดี่ยวหมด
= เป็นเส้นตรง



เป็นของแข็ง
เช่นไขมัน

— กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid)

- มีพันธะที่ต่อระหว่างคาร์บอนอย่างน้อย 1 ตำแหน่ง เป็นพันธะคู่ (Double Bond) ทำให้มีรูปร่างบิดงอ
- ไฮโดรเจนจับคาร์บอนได้ไม่แน่น ทำให้สามารถรับไฮโดรเจนเพิ่มเข้าไปในโมเลกุลอีก
- จุดหลอมเหลวต่ำ ละลายได้ง่าย มักกลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง



ปฏิกิริยา Hydrogenation

เป็นการทำให้ไขมันอิ่มตัว ด้วยการเติมไฮโดรเจน (H) เพื่อเติมเต็มพันธะคู่ในไขมันไม่อิ่มตัว ทำให้สามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่เหม็นหืน แต่จะทำให้เกิด 'Trans Double Bond' หรือ 'ไขมันทรานส์ (Trans Fat)' ซึ่งก่อโรคหัวใจยิ่งกว่าไขมันอิ่มตัวเสียอีก และพบมากใน เค้ก ครีม วิปครีม และมาการีน

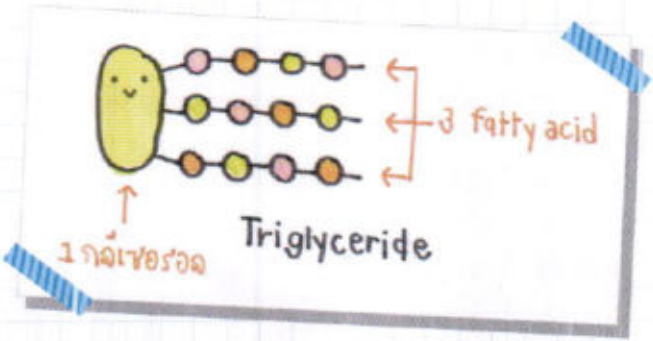
○ แบ่งตามลักษณะทางเคมีได้เป็น

— ไขมันธรรมดา (Simple Lipid)

- เป็นไขมันที่ประกอบด้วยกลีเซอรอล 1 โมเลกุล + กรดไขมัน 1, 2 หรือ 3 โมเลกุลก็ได้
- ถ้ามีกรดไขมัน
  - >> 1 โมเลกุล เรียกว่า โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride)
  - >> 2 โมเลกุล เรียกว่า ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride)
  - >> 3 โมเลกุล เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride)

**ไตรกลีเซอไรด์ ถือว่าเป็นแหล่งเก็บพลังงานและเป็นฉนวนความร้อน

- เก็บสะสมอยู่ในเซลล์ที่สะสมไขมัน (Adipose Cell) อยู่ที่หน้าท้อง
- เชื่อมกันด้วยพันธะเอสเทอร์ (Ester Linkage)



ได้แก่ ขี้ผึ้ง หรือ ไข (Wax)

- ประกอบด้วยแอลกอฮอล์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอล + กรดไขมัน
- โมเลกุลใหญ่ น้ำหนักเยอะ
- มีคุณสมบัติกันน้ำ
- พบตามผิวนอกของเปลือกผลไม้ ผิวใบไม้ สารเคลือบปีกของแมลง ขนสัตว์ปีก ไขผึ้ง และขี้หู

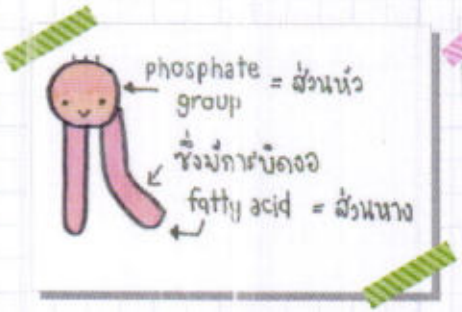
ไขวาฬ (Spermaceti) – วาฬสามารถใช้ไขที่สะสมไว้เป็นพลังงานได้

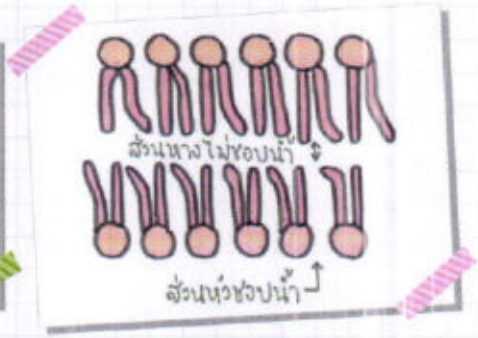
— ไขมันเชิงประกอบ (Compound Lipid)

- เป็นไขมันที่ประกอบด้วยไขมันธรรมดา + สารอื่นๆ ได้แก่

>> ฟอสโฟลิพิด (Phospholipid)

- เป็นไขมันธรรมดา + ฟอสเฟต
- เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell Membrane)





ฟอสโฟลิพิด แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

1) ส่วนหัวเป็นขั้วมีประจุที่ชอบน้ำ (Hydrophilic Polar Head)
   เพราะเป็นคุณสมบัติของหมู่ฟอสเฟตและหมู่ที่มาเกาะกับฟอสเฟต
2) ส่วนท้ายเป็นหางไม่มีประจุที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Nonpolar)
   เพราะเป็นคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำของกรดไขมัน
   - พบในเยื่อหุ้มเซลล์ เนื้อเยื่อประสาท ไข่แดง
   - เมื่อถูกน้ำมันจะมีการรวมตัวเป็นสองชั้น (Bilayer)

การที่มันบิด ทำให้ membrane มีคุณสมบัติ fluidity กลิ้งไปกลิ้งมาได้

>> ไกลโคลิพิด (Glycolipid)

- เป็นไขมันธรรมดา + คาร์โบไฮเดรต
- ส่วนใหญ่พบที่สมอง ตับ ไต และม้าม

>> ไลโพโปรตีน (Lipoprotein)

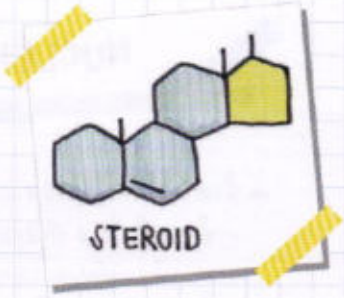
- ไขมันธรรมดา + กรดอะมิโนหรือโปรตีน
- พบในเยื่อหุ้มเซลล์

— อนุพันธ์ของไขมัน (Derived Lipid)

- ไม่ได้ประกอบด้วยกลีเซอรอลและกรดไขมัน แต่มีคาร์บอนเกาะกันเป็นวงแทน ได้แก่

>> สเตียรอยด์ (Steroid)

- ประกอบด้วยวงของคาร์บอนต่อกัน 4 วง
- เป็น ⬡ ห้าเหลี่ยม 1 วง ⬡ หกเหลี่ยม 3 วง
- พบได้ในวิตามินดี คอเลสเตอรอล แคโรทีน ฮอร์โมนเพศ และกรดโคลิก



>> คอเลสเตอรอล (Cholesterol)

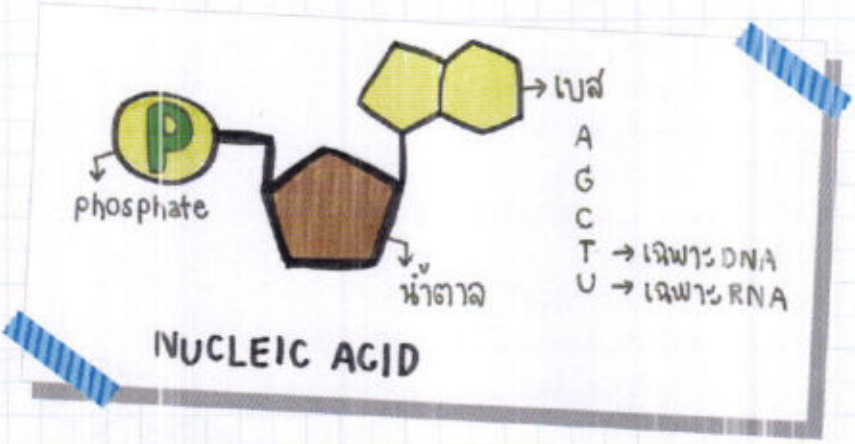
- เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ โดยเฉพาะที่บริเวณเซลล์ประสาท
- เป็นสารตั้งต้นก่อเนิดในการสร้างฮอร์โมนเพศทุกชนิด
- มักพบในสมอง และในไข่แดง

○ ประโยชน์ของไขมัน

— เป็นแหล่งพลังงาน เพราะไขมัน 1 กรัม ให้พลังงานมากถึง 9 กิโลแคลอรี
— เป็นส่วนประกอบหลักของเยื่อหุ้มเซลล์ในเซลล์ต่างๆ ทั่วร่างกาย
— ช่วยดูดซึมวิตามิน A, D, E, K ซึ่งเป็นวิตามินที่ละลายในไขมัน
— ช่วยให้ผิวชุ่มชื่น มีน้ำมันวล กักเก็บความร้อน
— ช่วยป้องกันอวัยวะต่างๆ ไม่ให้กระทบกระเทือน

กรดนิวคลีอิก (Nucleic Acid)

- เป็นสารพันธุกรรมทำหน้าที่ควบคุมทุกกระบวนการภายในเซลล์ เหมือนเป็นหัวหน้า ได้แก่ DNA และ RNA
- มอนอเมอร์ (Monomer) – นิวคลีโอไทด์ (Nucleotide)
- พอลิเมอร์ (Polymer) – พอลินิวคลีโอไทด์ (Polynucleotide)
- นิวคลีโอไทด์ (Nucleotide) ประกอบด้วย น้ำตาล ไนโตรเจนเบส และหมู่ฟอสเฟต

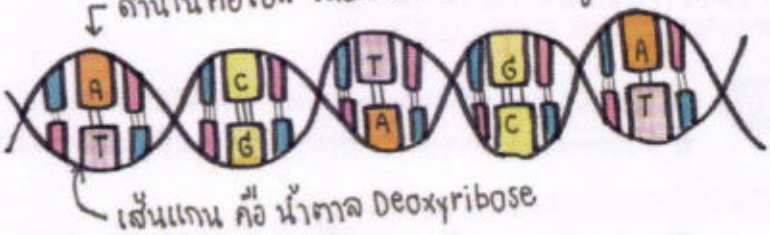


– น้ำตาล โมเลกุลเดี่ยว 2 ชนิด ได้แก่
- น้ำตาลไรโบส (Ribose Sugar)
  >> เป็นองค์ประกอบของ RNA หรือ Ribonucleic Acid
- น้ำตาลดีออกซีไรโบส (Deoxyribose Sugar)
  >> เป็นองค์ประกอบของ DNA หรือ Deoxyribonucleic Acid

– ไนโตรเจนเบส (Nitrogenous Bases) มี 2 ชนิด ได้แก่
- พิวรีน (Purine Base) ได้แก่
  >> อะดีนีน (Adenine, A) และกัวนีน (Guanine, G)
- ไพริมิดีน (Pyrimidine Base) ได้แก่
  >> ไซโตซีน (Cytosine, C), ไทมีน (Thymine, T) และยูเรซิล (Uracil, U)

– หมู่ฟอสเฟต

- DNA
  - ประกอบด้วย พอลินิวคลีโอไทด์ (Polynucleotide) 2 สาย พันกันเป็นเกลียวคู่ เรียกว่า 'Double Helix' เชื่อมกันด้วยน้ำตาลดีออกซีไรโบส และไนโตรเจนเบส ชนิด A G C T



▶ ภาพโครงสร้างของ DNA ◀

- RNA
  - เป็น พอลินิวคลีโอไทด์ (Polynucleotide) สายเดียว
  - ประกอบด้วยน้ำตาลไรโบส และไนโตรเจนเบส ชนิด A G C U
  - RNA ในสัตว์ พบ 3 แบบ ได้แก่
    - mRNA หรือ messenger RNA
      - >> เป็น RNA ต้นแบบที่ถูกสร้างจาก DNA ทำหน้าที่ถอดรหัสคำสั่งจาก DNA
      - >> ทำงานร่วมกับ Ribosome เพื่อสังเคราะห์โปรตีนตามคำสั่งนั้นๆ ซึ่งพบมากในนิวเคลียส
    - tRNA หรือ transfer RNA
      - >> ถูกสร้างในนิวเคลียส แล้วมาลอยอยู่ในไซโตพลาสซึม
      - >> มีหน้าที่มากรดอะมิโนมาเรียงให้ได้สายโปรตีนตามรหัสจาก mRNA
    - rRNA หรือ ribosomal RNA
      - >> เป็น RNA ที่มีไรโบโซมมาเกาะขณะกำลังทำการสังเคราะห์โปรตีนอยู่

บทที่ 4
การจัดการพลังงานในสิ่งมีชีวิต

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดล้วนต้องการพลังงานในการดำรงชีวิต ซึ่งพลังงานนั้นมีหลายรูปแบบ สามารถถ่ายทอด หมุนเวียน เปลี่ยนรูป และอาศัยในสิ่งแวดล้อมได้ โดยเป็นไปตามกฎของเทอร์โมไดนามิกส์

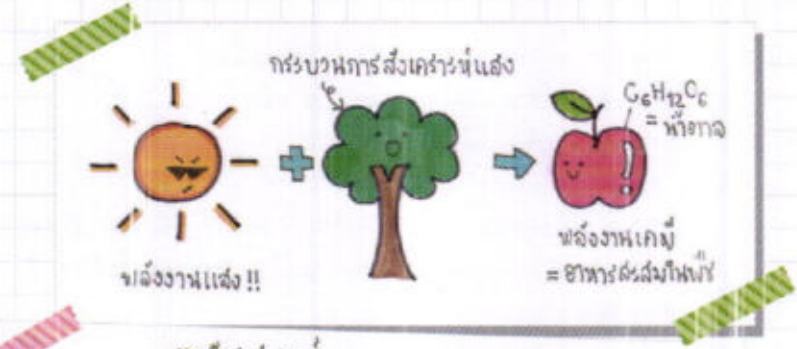
1. กฎของเทอร์โมไดนามิกส์

มี 2 ข้อ ได้แก่

- พลังงานทั้งหมดในจักรวาลจะคงที่ ไม่มีการเพิ่มหรือสูญหาย
- การถ่ายทอดพลังงานทุกครั้ง จะมีการปลดปล่อยพลังงานความร้อนส่วนหนึ่ง

2. การเปลี่ยนรูปของพลังงานในสิ่งแวดล้อม

- เกิดขึ้นเมื่อสิ่งมีชีวิตมีการสร้างหรือใช้พลังงาน ซึ่งล้วนเกิดจากปฏิกิริยาภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

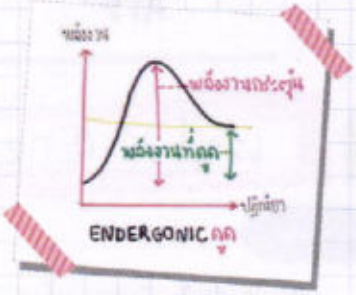


3. ปฏิกิริยาเคมีในสิ่งมีชีวิต

มี 2 รูปแบบ ได้แก่

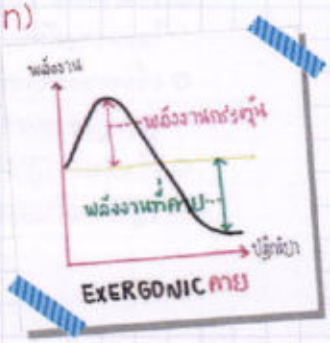
ปฏิกิริยาเอนเดอร์โกนิก (Endergonic Reaction)

- เป็นการดูดพลังงานจากภายนอกมาใช้
- พลังงานที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าพลังงานเริ่มต้น
- ถือเป็นการสลายสาร
- ΔG มีค่าเป็นบวก
- เช่น ปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง



ปฏิกิริยาเอ็กเซอร์โกนิก (Exergonic Reaction)

- ในขณะเกิดปฏิกิริยาจะมีการคายพลังงานออกสู่สิ่งแวดล้อม
- พลังงานที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าพลังงานเริ่มต้น
- ถือเป็นการสร้างสารใหม่
- ΔG มีค่าเป็นลบ
- เช่น ปฏิกิริยาการหายใจระดับเซลล์



- จำง่ายๆ ว่า 'สร้าง-คาย สลาย-ดูด'
- ทั้งสองปฏิกิริยานี้จะเกิดควบคู่กันไปเสมอในสิ่งมีชีวิตทุกชนิด

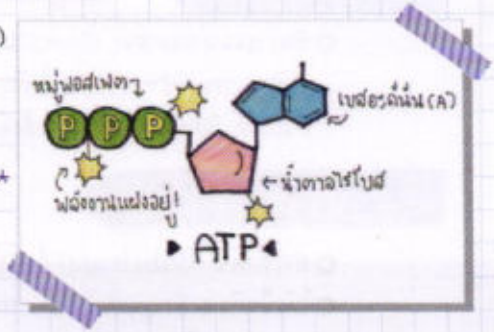
4. สาร ATP

ย่อมาจาก Adenosine Triphosphate

เป็นสารตั้งต้นของพลังงานภายในเซลล์

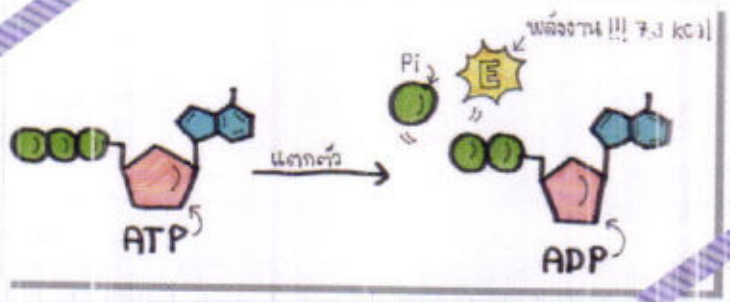
ประกอบด้วย

- หมู่ฟอสเฟต (Phosphate Group หรือ P)
- เบสอะดีนีน (Adenine หรือ A)
- น้ำตาลไรโบส (Ribose)



ทั้งหมดเชื่อมกันด้วยพันธะพลังงานสูง

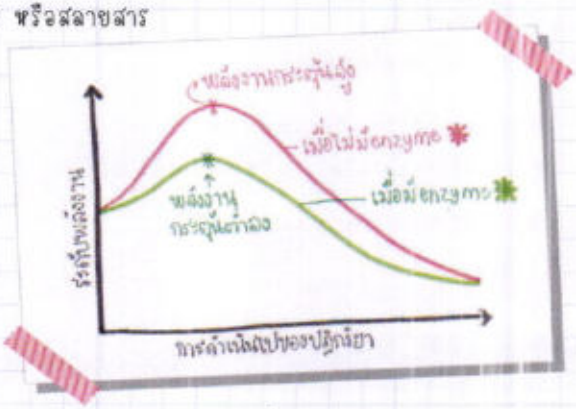
- เมื่อ ATP แตกตัวจะกลายเป็น ADP และได้พลังงานออกมา พร้อมกับฟอสเฟตอิสระ 1 ตัวที่เรียกว่า Pi



5. เอนไซม์ (Enzyme)

ภาพรวม

- เป็นโปรตีน ที่ประกอบด้วย Polypeptide ≥ 1 สาย + โคเอนไซม์ (Coenzyme) + ไอออนของโลหะ
- เนื่องจากเอนไซม์เป็นโปรตีน จึงสามารถเสียสภาพ (Denature) ได้ หากอยู่ในอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม หรือมีค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ที่ไม่เหมาะสม
- เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) โดยการลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา ไม่ว่าจะเป็นปฏิกิริยาสร้างสาร หรือสลายสาร

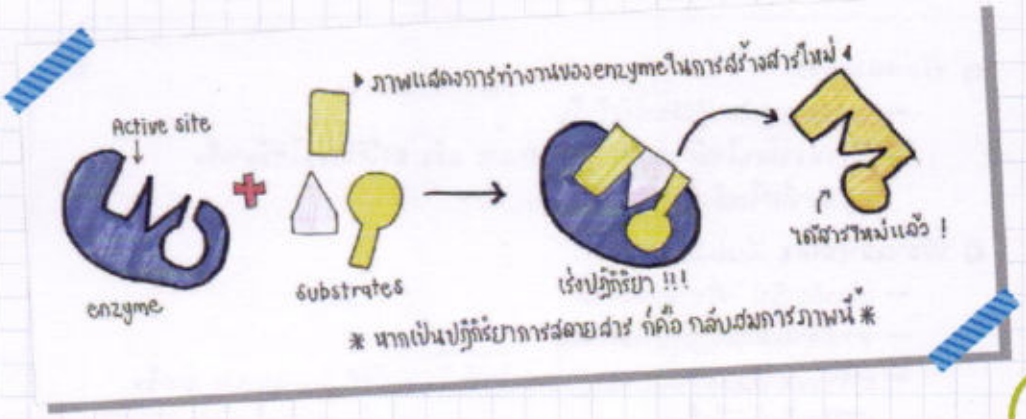


คุณสมบัติสำคัญ

- มีความเฉพาะเจาะจง (Specificity) กับสารตั้งต้น (Substrate) แต่ละชนิด โดยจะเร่งเฉพาะปฏิกิริยาของสารตั้งต้น (Substrate) ที่ถูกกำหนดเท่านั้น ซึ่งจะมีช่วง Active Site ที่พอดีกับสารตั้งต้น (Substrate) แต่ละชนิด

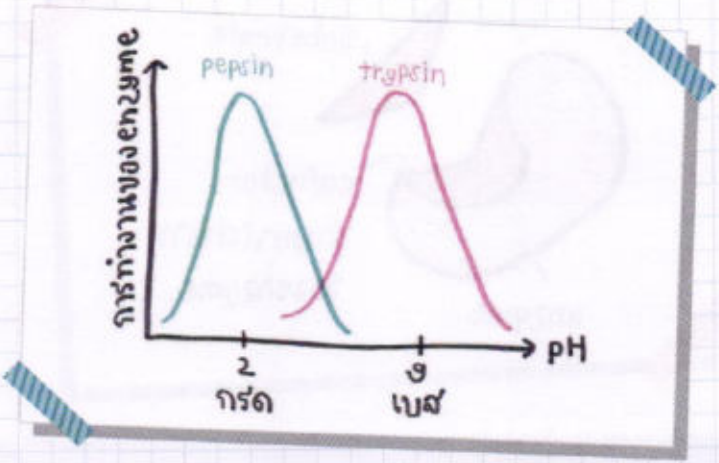
การทำงานของเอนไซม์

- สารตั้งต้น (Substrate) ไปจับกับเอนไซม์ บริเวณ Active Site เฉพาะตัว
- ได้เป็นก้อน Enzyme Substrate Complex ซึ่งเจ้าก้อนนี้จะช่วยลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาได้

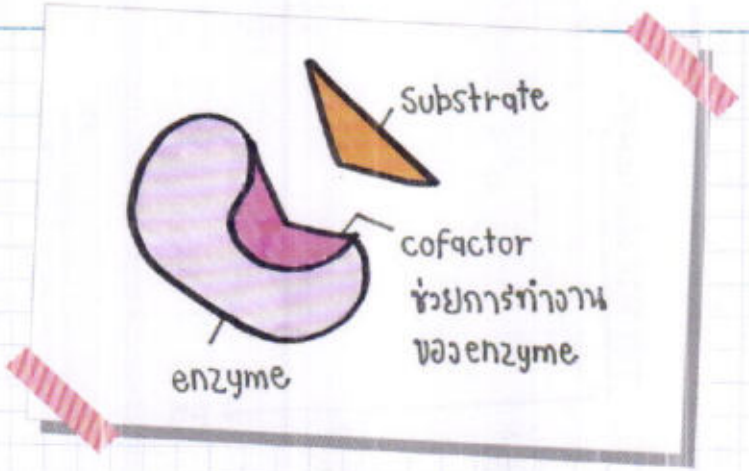


ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์

- อุณหภูมิเหมาะสม
  - ประมาณ 25 – 40 องศาเซลเซียส
  - หากร้อนเกินไปเอนไซม์จะสุก เปรียบเสมือนการต้มไข่
  - หากไม่เหมาะสม มันก็จะไม่พอดีกับสารตั้งต้น (Substrate)
- ค่า pH เหมาะสม
  - แต่ละเอนไซม์จะทำงานได้ดีในสภาวะที่มีค่า pH แตกต่างกัน
  - เช่น อะไมเลส (Amylase), ไลเปส (Lipase) ชอบ pH ที่เป็นกลาง
    เปปซิน (Pepsin) ชอบ pH ที่เป็นกรด
    ทริปซิน (Trypsin) ชอบ pH ที่เป็นเบส



- ปริมาณเอนไซม์
  - หากมีมากจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น
  - ถ้าจำนวนเอนไซม์ครบคู่กับ Substrate แล้ว ต่อให้มีเอนไซม์มากขึ้น ปฏิกิริยาก็จะไม่เร็วขึ้น
- ปริมาณสารตั้งต้น (Substrate)
  - เช่นเดียวกับ 'ปริมาณเอนไซม์'
  - หากมีมากจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น
  - ถ้าจำนวน Substrate ครบคู่กับเอนไซม์แล้ว ต่อให้มี Substrate มากขึ้น ปฏิกิริยาก็จะไม่เร็วขึ้น
- ตัวเร่งหรือตัวยับยั้งการทำงานของเอนไซม์
  - ตัวเร่งปฏิกิริยา เรียกว่า Activator
  - ตัวยับยั้งปฏิกิริยาเรียกว่า Inhibitor ซึ่งจะเข้าไปรวมกับเอนไซม์ตรง Active Site คล้ายกับไปแย่งคู่ของ Substrate ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้อีก
- โคแฟกเตอร์ (Cofactor)
  - เป็นสารที่ต้องอยู่ช่วยเอนไซม์ทำงานเสมอ ขาดไม่ได้
  - เช่น ไอออนของโลหะ
  - Coenzyme เช่น NAD, FAD



บทที่ 5
การหายใจระดับเซลล์

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดล้วนต้องการพลังงานในการดำรงชีวิต โดยพลังงานนั้นอยู่ในอาหาร สิ่งมีชีวิตจึงต้องกินอาหาร

จากนั้นอาหารจะถูกลำเลียงไปยังเซลล์เพื่อเข้าสู่กระบวนการสลายสารอาหารให้ได้พลังงานออกมา สุดท้ายพลังงานนั้นจะถูกเก็บในรูปของ ATP โดยปฏิกิริยานี้เรียกว่า 'การหายใจระดับเซลล์'

1. ภาพรวม

- เป็นปฏิกิริยาสลายสารอาหาร ได้แก่ น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน
- เพื่อนำพลังงานที่อยู่ในสารอาหารนั้นมาใช้ในการ
  - สังเคราะห์สารใหม่ เช่น เอนไซม์ ฮอร์โมน
  - ขนส่งสารผ่านเซลล์
  - เคลื่อนไหวร่างกาย
- เป็นปฏิกิริยาเคมีชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตเรียกว่า 'เมตาบอลิซึม (Metabolism)'
- สารที่เกี่ยวข้อง ได้แก่
  - อาหารที่เรากินเข้าไป
  - ออกซิเจนที่เราหายใจเข้าไป (มีหรือไม่ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยา)
- พลังงานที่ได้นั้น จะอยู่ในรูปของ ATP ซึ่งเป็นเหมือนเชื้อเพลิงของเซลล์

2. รูปแบบของการหายใจระดับเซลล์

- มี 2 รูปแบบ คือ
  - แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Respiration) หมายถึง การไม่มีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย เช่น

• การหมักแอลกอฮอล์ของยีสต์

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 2\,ATP$$

กลูโคส — มีการปล่อย-ไดออกไซด์! — พลังงาน

• การหมักกรดแลคติกของกล้ามเนื้อลาย

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_3H_6O_3 + 2\,ATP$$

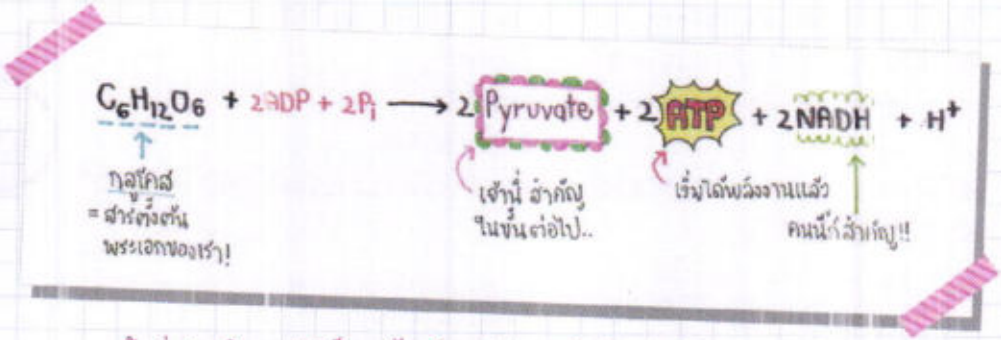
กลูโคส — กรดแลคติก สะสมในกล้ามเนื้อ = เมื่อย! — ไม่มี CO_2

ซึ่งกรดแลคติกหากสะสมในกล้ามเนื้อลาย จะทำให้เมื่อย ล้า เป็นตะคริว

- แบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Respiration) หมายถึง การมีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย มี 4 ขั้นตอน ได้แก่

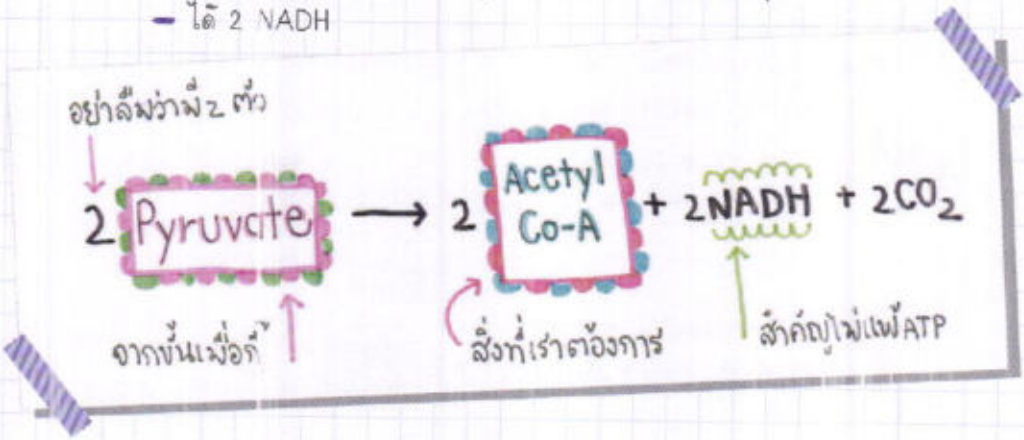
ขั้นที่ 1 ไกลโคไลซิส (Glycolysis)

- เกิดในสภาวะที่มีออกซิเจนหรือไม่ก็ได้
- เกิดที่ 'ไซโตพลาสซึม (Cytoplasm)' ของเซลล์
- สารตั้งต้นคือ 'กลูโคส (Glucose)'
- ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญคือ 'กรดไพรูวิก (Pyruvate)' จำนวน 2 โมเลกุล
- ได้พลังงาน 2 ATP
- ได้ 2 NADH



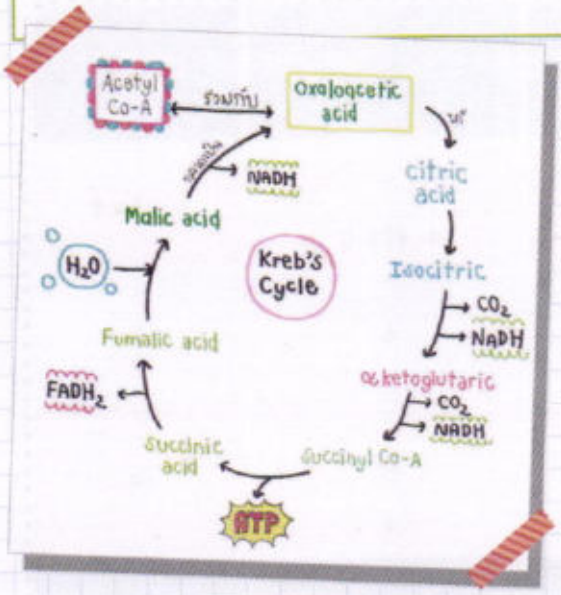
ขั้นที่ 2 สร้างอะซิติลโคเอนไซม์ เอ/ Acetyl Co-A (Pyruvate Oxidation)

- เกิดที่แมทริกซ์ (Matrix) ของไมโทคอนเดรีย (Mitochondria)
- สารตั้งต้นคือกรดไพรูวิกจากขั้นที่แล้ว
- ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ คือ Acetyl Co-A จำนวน 2 โมเลกุล
- ได้ 2 NADH



ขั้นที่ 3 Kreb's cycle (Citric Acid Cycle)

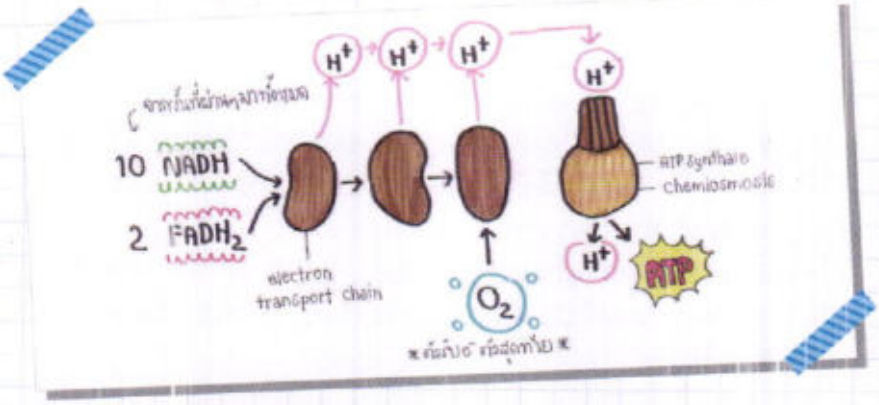
- เกิดที่เมทริกซ์ (Matrix) ของไมโทคอนเดรีย (Mitochondria)
- สารตั้งต้น คือ Acetyl Co-A จากขั้นที่แล้ว มารวมกับ 'กรดออกซาโลแอซีติก (Oxaloacetic Acid)' ได้เป็น 'กรดซิตริก (Citric Acid)'
- แล้วกรดซิตริกก็เข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นวงจร
- ในระหว่างกระบวนการนี้ก็ปล่อย ATP, CO_2, NADH, $FADH_2$ ออกมาด้วย
- ในขั้นสุดท้าย จะกลายเป็นกรดออกซาโลแอซีติกอีกครั้ง เพื่อรอรวมกับ Acetyl Co-A ต่อไป
- เนื่องจากมี Acetyl Co-A จำนวน 2 โมเลกุล ดังนั้นจะเกิดกระบวนการเช่นนี้ 2 ครั้ง ได้พลังงานทั้งหมด 2 ATP + 6 NADH + 2 $FADH_2$



ขั้นที่ 4 Electron Transport Chain

- เกิดที่คริสตี (Cristae) ของไมโทคอนเดรีย (Mitochondria)
- โดย NADH และ $FADH_2$ จากทุกปฏิกิริยาก่อนหน้านี้ เป็นพลังงานที่ยังใช้ไม่ได้ต้องเข้ากระบวนการก่อนเพื่อนำไปสร้างเป็น ATP อีกครั้ง
- ได้พลังงานทั้งหมด 10 NADH กับ 2 $FADH_2$ เข้าสู่ก้อน Cytochrome Complex 4 ก้อน
- ใน Cytochrome Complex 3 ก้อนแรก จะถูกดึงอิเล็กตรอน (e^-) ไปแล้วเหลือไฮโดรเจนไอออน (H^+) ปล่อยออกมา
- เจ้าไฮโดรเจนไอออน (H^+) นี้จะเข้าไปในก้อนสุดท้าย ซึ่งเป็นตัวสร้าง ATP เรียกว่า 'ATP Synthase'
- โดย NADH จำนวน 1 โมเลกุล สามารถแลกได้ 3 ATP และ $FADH_2$ จำนวน 1 โมเลกุล สามารถแลกได้ 2 ATP

ในเซลล์ทั่วไป NADH ที่มาจากกระบวนการไกลโคไลซิส จะต้องเสีย ATP ไประหว่างเดินทาง จึงเหลือแลกเป็น 2 ATP ต่อ 1 NADH ยกเว้น เซลล์หัวใจ ไต และตับ ที่ไม่ต้องเสีย ATP ระหว่างเดินทาง

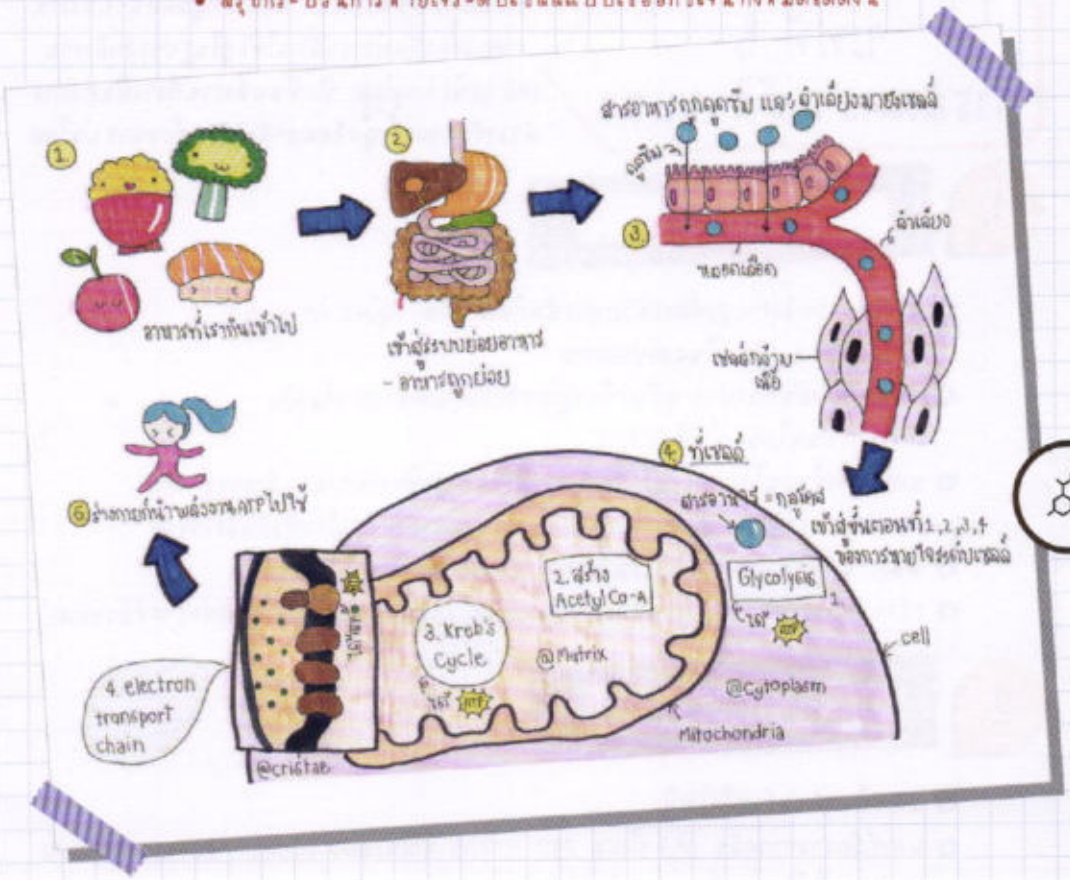


• สรุปพลังงานที่ได้จากการหายใจแบบใช้ออกซิเจนทั้งหมด

ขั้นตอน	สารพลังงานที่ได้	จำนวน	Electron Transport Chain และ ATP ได้	รวม ATP ในแต่ละขั้นตอน
Glycolysis	ATP	2		6 หรือ 8
	NADH	2	4 หรือ 6	
สร้าง Acetyl Co-A	NADH	2	6	6
Kreb's cycle	ATP	2		24
	NADH	6	18	
	$FADH_2$	2	4	
รวม				36 หรือ 38

- สารอาหารที่ให้พลังงานมีหลายอย่าง เช่น กลูโคส กรดอะมิโน กลีเซอรอล กรดไขมัน ทุกตัวต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างให้เหมือนกลูโคสก่อนจึงจะเข้าสู่กระบวนการหายใจระดับเซลล์ได้ ดังนี้
  - กลีเซอรอล >> จะเข้าร่วมในช่วงไกลโคไลซิส (Glycolysis)
  - กรดไขมัน >> จะเปลี่ยนเป็น Acetyl Co-A เข้ามาในช่วง Kreb's cycle
  - กรดอะมิโน >> แค่ตัด N ออกก็ทำได้ทุกอย่างเหมือนกลูโคส และเข้าไกลโคไลซิสได้ คนที่ลดน้ำหนัก (Diet) ถึงนิยมกินโปรตีนแทนข้าว

• สรุปกระบวนการหายใจระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจนทั้งหมดได้ดังนี้



บทที่ 6
การสังเคราะห์ด้วยแสง

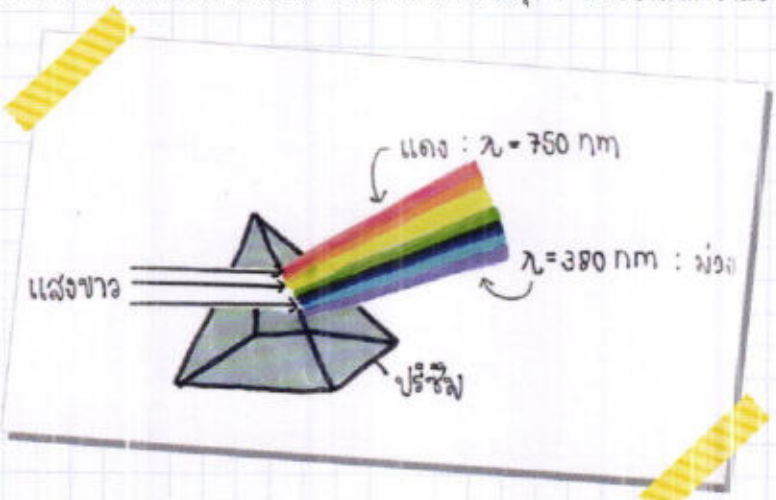
'การสังเคราะห์ด้วยแสง' คือการที่ผู้ผลิตนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของพลังงานเคมี (แป้ง + กลูโคส) ซึ่งเป็นพลังงานที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของทั้งผู้ผลิตและสิ่งมีชีวิตทั้งหลายบนโลก

1. ภาพรวม

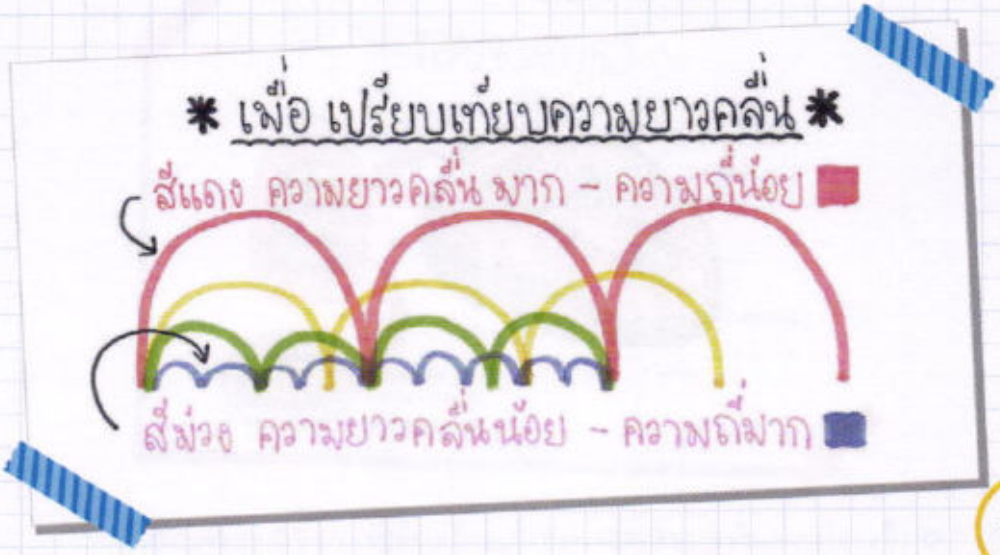
- สารอาหารพลังงานสูงที่สิ่งมีชีวิตทุกชนิดต้องการคือ 'กลูโคส ($C_6H_{12}O_6$)' ซึ่งมีคาร์บอน (C) เป็นองค์ประกอบ
- ส่วนสารตั้งต้นที่จะนำมาสร้างเป็นกลูโคสซึ่งมีอยู่มากมายบนโลกคือ 'ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)'
- แต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีพลังงานอยู่เลย จึงต้องมีการนำพลังงานมาเติมและสังเคราะห์ เพื่อให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลายเป็นกลูโคสซึ่งมีพลังงานสูง
- พลังงานที่นำมาเติมนั้นก็คือ 'พลังงานแสง' ซึ่งมีมากมายไม่มีวันหมด
- กระบวนการที่จะนำพลังงานแสงมาสร้างกลูโคส เรียกว่า 'กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง'

2. คุณสมบัติของแสง

- แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- แสงที่มีความยาวคลื่น (λ) ตั้งแต่ 380 – 750 นาโนเมตร เรียกว่า 'แสงขาว (Visible Light)' ซึ่งก็คือแสงที่เรามองเห็นได้ทั่วไป
- ถ้านำแสงขาวมาส่องผ่านปริซึม จะแยกออกมาเป็นสีรุ้ง 7 สี เรียงตามความยาวคลื่น (λ)



แสงสีม่วง มีความยาวคลื่น (λ) น้อยที่สุด แต่มีความถี่ (f) และมีพลังงาน (E) มากที่สุด
แสงสีแดง มีความยาวคลื่น (λ) มากที่สุด แต่มีความถี่ (f) และมีพลังงาน (E) น้อยที่สุด



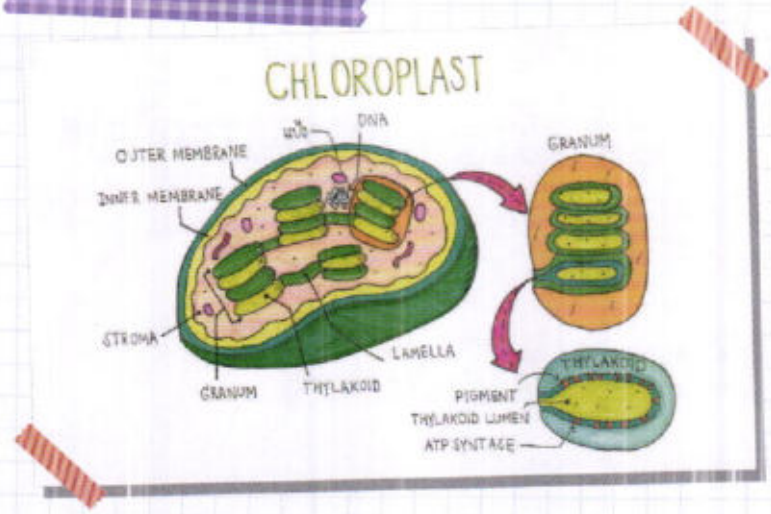
- เมื่อแสงเดินทางมายังวัตถุจะเกิดการสะท้อนแสงออกไปหรือดูดกลืนแสงเก็บไว้ ซึ่งสารที่ดูดกลืนแสงได้เรียกว่า 'สารสี' หรือ 'รงควัตถุ (Pigment)'
- แสงทำให้เราเห็นสี

— ทดลองง่ายๆ แค่ปิดไฟไม่ให้มีแสง แค่นี้เราก็ไม่เห็นสีแล้ว แต่เราจะเห็นทุกอย่างเป็นสีเทาๆ แทน

— วัตถุที่เราเห็นเป็นสีต่างๆ เพราะมันไม่ดูดกลืนแสงสีนั้น มันจึงสะท้อนแสงสีนั้นๆ ออกมา

- การมองเห็นสีขาว
  >> เพราะวัตถุไม่ดูดกลืนแสงสีอะไรเลย มันจึงสะท้อนแสงออกมาทั้ง 7 สีรวมกัน ทำให้เห็นเป็นสีขาว
- การมองเห็นสีดำ
  >> เพราะวัตถุดูดกลืนแสงไว้ทั้งหมด จึงไม่สะท้อนแสงใดๆ ทำให้เห็นเป็นสีดำ
- การมองเห็นใบไม้เป็นสีเขียว
  >> เพราะใบไม้ดูดกลืนแสงทุกสี ยกเว้นแสงสีเขียว จึงสะท้อนแสงสีเขียวออกมา ทำให้เรามองเห็นใบไม้เป็นสีเขียว
  >> ใบไม้จะดูดกลืนแสงที่มีสีม่วงและน้ำเงินได้ดีที่สุด

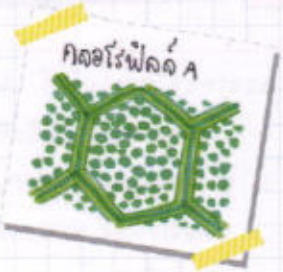
3. คลอโรพลาสต์

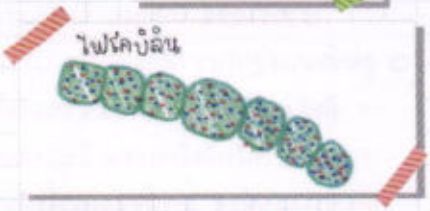


- เป็นออร์แกเนลล์อย่างหนึ่งที่มีความสำคัญมากในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
- สามารถผลิตโปรตีนไว้ใช้เอง รวมถึงจำลองตัวเองได้ เพราะมี DNA, RNA และไรโบโซมอยู่ภายใน
- มีรูปร่างคล้ายเลนส์ ประกอบด้วยเยื่อหุ้มแบบยูนิตเมมเบรนจำนวน 2 ชั้น (Double Unit Membrane) ได้แก่
  - เยื่อชั้นนอก (Outer Membrane) เป็นแผ่นเรียบ มีส่วนประกอบเป็นฟอสโฟลิพิดและโปรตีน ทำหน้าที่ควบคุมสารที่ผ่านเข้าออก
  - เยื่อชั้นใน (Inner Membrane) ประกอบด้วย
    - ลาเมลลา (Lamella) เป็นเยื่อที่เป็นแผ่นบางๆ วางซ้อนกันเหมือนเหรียญบาทเรียงกันเป็นตั้ง
    - กรานุม หรือกรานัม (Granum) คือ แต่ละชั้นของลาเมลลา หลายๆ กรานุม เรียกว่า 'กรานา (Grana)'
    - ไทลาคอยด์ (Thylakoid) คือ ลาเมลลาแต่ละแผ่นในกรานุม ภายในมีช่องที่เรียกว่า 'ลูเมน (Lumen)' ซึ่งมีเอนไซม์อยู่ และบนเยื่อไทลาคอยด์นี้จะมีคลอโรฟิลล์และสารสีต่างๆ ทั้งหมด จึงเป็นส่วนที่ดูดพลังงานแสงมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงนั่นเอง
    - สโตรมาลาเมลลา (Stroma Lamella) เป็นส่วนที่เชื่อมกันระหว่างแต่ละกรานา
    - สโตรมา (Stroma) เป็นของเหลวที่อยู่ภายใน

4. สารสีหรือรงควัตถุ (Pigment) ในปฏิกิริยาแสง

- เป็นสารที่สามารถดูดกลืนพลังงานแสงมาสร้างเป็นพลังงานเคมีได้ มีดังนี้
  - คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) มี 4 ชนิด ได้แก่
    - คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll A) มีสีเขียวเข้ม พบในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่สังเคราะห์แสงได้ ยกเว้นแบคทีเรีย สามารถดูดกลืนสีม่วง น้ำเงิน และแดงได้ดี และเป็นศูนย์กลางของการเกิดปฏิกิริยา
    - คลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll B) มีสีเขียวอ่อน พบในพืชทุกชนิด และสาหร่ายที่มีสีเขียวเท่านั้น เป็นตัวช่วยให้คลอโรฟิลล์ เอ จับแสง
    - คลอโรฟิลล์ ซี (Chlorophyll C) มีสีน้ำตาล สีเหลือง และสีทอง พบในสาหร่ายสีน้ำตาล และสาหร่ายสีทอง
    - คลอโรฟิลล์ ดี (Chlorophyll D) มีสีแดง พบในสาหร่ายสีแดง และสาหร่ายเปลวไฟ
  - แคโรทีนอยด์ (Carotenoid)
    - พบในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่สังเคราะห์แสงได้
    - เป็นตัวช่วยคลอโรฟิลล์สังเคราะห์แสงอีกที
    - ประกอบด้วยสารสี 2 ชนิด ได้แก่
      - >> แคโรทีน (Carotene) เป็นสารสีส้ม และสีแดง
      - >> แซนโทฟิลล์ (Xanthophyll) เป็นสารสีเหลือง และสีน้ำตาล
  - ไฟโคบิลิน (Phycobilin)
    - พบในสาหร่ายสีแดงและไซยาโนแบคทีเรีย
    - ประกอบด้วยสารสี 2 ชนิด ได้แก่
      - >> ไฟโคอีรีทริน (Phycoerythrin) เป็นสารสีแดงแกมน้ำตาล
      - >> ไฟโคไซยานิน (Phycocyanin) เป็นสารสีเขียวแกมน้ำเงิน
  - แบคเทอริโอคลอโรฟิลล์ (Bacteriochlorophyll)
    - พบในแบคทีเรียที่สังเคราะห์แสงได้เท่านั้น





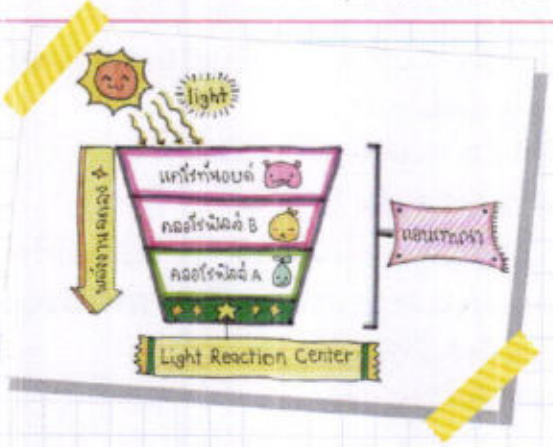
5. ระบบแสง

แอนเทนนาคอมเพล็กซ์
และศูนย์กลางปฏิกิริยา

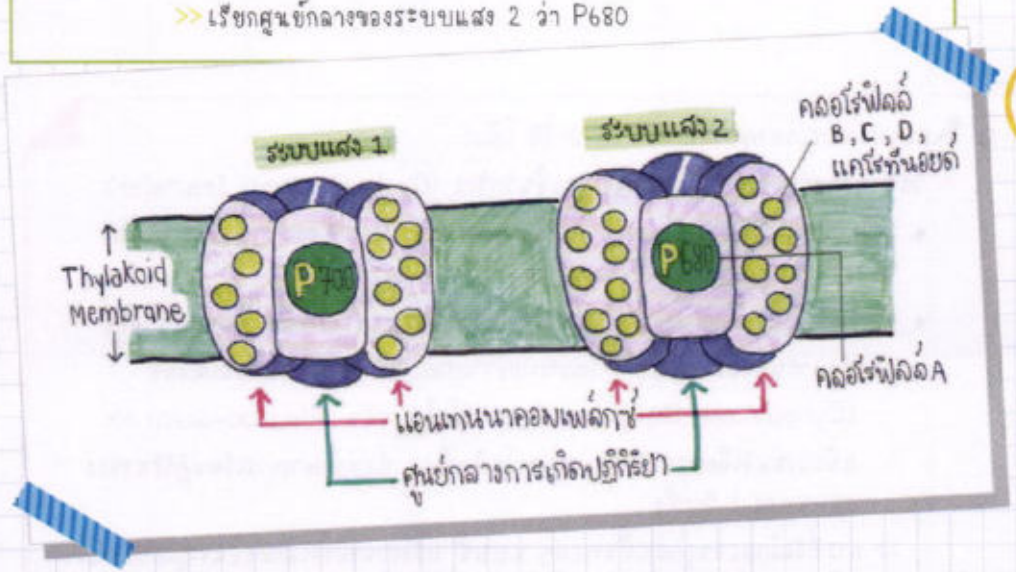
- แอนเทนนาคอมเพล็กซ์ (Antenna Complex)
  - เป็นกลุ่มของสารสีที่ฝังตัวอยู่ในกลุ่มของโปรตีนบนเยื่อไทลาคอยด์
  - ประกอบด้วยสารสีต่างๆ รวมกันประมาณ 350 โมเลกุล ซึ่งได้แก่
    - คลอโรฟิลล์ ประเภทคลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์ ซี และคลอโรฟิลล์ ดี
    - แคโรทีนอยด์
  - ทำหน้าที่รับพลังงานแสงแล้วส่งต่อไปเป็นทอดๆ จนถึงศูนย์กลางการเกิดปฏิกิริยา
  - ในโมเลกุลของสารสีจะมีอะตอมที่มีอิเล็กตรอนวนอยู่รอบๆ นิวเคลียส
    - ซึ่งจะอยู่ใน 2 สถานะ ได้แก่

      1) **สถานะปกติ หรือสถานะพื้น** (Ground State)
      >> เป็นสถานะที่อิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงานปกติ ไม่ได้รับการกระตุ้นจากพลังงานแสง

      2) **สถานะถูกกระตุ้น** (Excited State)
      >> เป็นสถานะที่อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจากพลังงานแสง ทำให้เคลื่อนที่ไปยังระดับที่มีพลังงานสูงขึ้น
    - กระบวนการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนในสารสีนี้ เรียกว่า 'ปฏิกิริยาโฟโต ออกซิเดชัน (Photo Oxidation)'
- ศูนย์กลางปฏิกิริยา (Reaction Center)
  - ฝังตัวอยู่ในกลุ่มของโปรตีนบนเยื่อไทลาคอยด์เช่นกัน
  - ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนเป็นลำดับสุดท้าย
  - ประกอบด้วย สารสีชนิดคลอโรฟิลล์ เอ ที่มีโมเลกุลพิเศษ และตัวรับอิเล็กตรอน



- ระบบแสง (Photosystem)
  - เป็นส่วนของแอนเทนนา ศูนย์กลางปฏิกิริยา และตัวรับอิเล็กตรอนจากศูนย์กลางปฏิกิริยารวมกัน
  - แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่
    - ระบบแสง 1
      >> เป็นระบบที่มีคลอโรฟิลล์ เอ ชนิด P700 ที่สามารถรับแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร ได้ดี
      >> เรียกศูนย์กลางของระบบแสง 1 ว่า P700
    - ระบบแสง 2
      >> เป็นระบบที่มีคลอโรฟิลล์ เอ ชนิด P680 ที่สามารถรับแสงที่ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร ได้ดี
      >> เรียกศูนย์กลางของระบบแสง 2 ว่า P680



6. กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่

1. ปฏิกิริยาแสง (Light Reaction)

- เป็นการเปลี่ยนพลังงานแสงที่ถูกเก็บไว้ในคลอโรพลาสต์ให้เป็นพลังงานเคมีในรูปของ ATP และ NADPH

- สรุปขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยาแสงได้คร่าวๆ ดังนี้

1) แสงกระทบที่เยื่อไทลาคอยด์ แอนเทนนาคอมเพล็กซ์ของทั้งระบบแสง 1 และ 2 จะรับพลังงานจากแสง
2) เกิดการถ่ายทอดพลังงานต่อกันเป็นทอดๆ จนส่งมาถึงศูนย์กลางปฏิกิริยา
3) เมื่อพลังงานมาถึงจะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนกระเด็นหลุดไป
   >> เปลี่ยนจากสถานะปกติ (Ground State) สู่สถานะถูกกระตุ้น (Excited State)
4) ต่อมาอิเล็กตรอนที่หลุดออกจะเริ่มเข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน
   >> ซึ่งจะได้เป็นพลังงาน (ATP, NADPH) ออกมา สำหรับใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง
5) จากนั้นระบบแสงทั้งสองที่เสียอิเล็กตรอนไป จะพยายามหาอิเล็กตรอนมาเติมให้เหมือนเดิมอีกครั้ง

- ขั้นตอนของการถ่ายทอดอิเล็กตรอนมี 2 วิธี ได้แก่
  - วิธีที่ 1 การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (Cycle Electron Transfer)
    - อิเล็กตรอนของคลอโรฟิลล์ เอ ในศูนย์กลางเกิดปฏิกิริยาของระบบแสง 1 ได้รับพลังงานกระตุ้นจนในที่สุดจะกระเด็นหลุดไป
    - จากนั้นอิเล็กตรอนถูกส่งให้กับโปรตีนขนส่งอิเล็กตรอนหลายชนิดเป็นทอดๆ ดังนี้
      >> เริ่มจากพลาสโตควิโนน (Plastoquinone) >> ไซโตโครมคอมเพล็กซ์ (Cytochrome Complex) >> พลาสโตไซยานิน (Plastocyanin) >> แล้วส่งต่ออิเล็กตรอนกลับมาที่คลอโรฟิลล์ เอ ที่ศูนย์กลางการเกิดปฏิกิริยาของระบบแสง 1 อีกครั้ง
      >> การที่อิเล็กตรอนถูกส่งเป็นทอดๆ แบบนี้ พลังงานของอิเล็กตรอนจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ ATP ซึ่งจะถูกนำไปใช้สร้างน้ำตาลในวัฏจักรเคลวินต่อไป
  - วิธีที่ 2 การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (Non-Cycle Electron Transfer)
    - อิเล็กตรอนของคลอโรฟิลล์ เอ ที่ศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสง 1 ได้รับพลังงานกระตุ้นจนในที่สุดก็จะกระเด็นหลุดไป
    - จากนั้นอิเล็กตรอนจะถูกส่งให้กับโปรตีนตัวพาที่ชื่อว่า เฟอร์ริดอกซิน (Ferredoxin)

- ต่อมาสาร NADP+ จะมาแย่งอิเล็กตรอนไป
  >> ได้เป็น NADPH ซึ่งจะถูกนำไปใช้สร้างน้ำตาลในวัฏจักรเคลวินต่อไป
- ขณะเดียวกันอิเล็กตรอนของคลอโรฟิลล์ เอ ที่ศูนย์กลางการเกิดปฏิกิริยาของระบบแสง 2 ก็ได้รับพลังงานกระตุ้นจนกระเด็นหลุดไปเช่นกัน
- โดยอิเล็กตรอนจะถูกส่งให้กับโปรตีนขนส่งอิเล็กตรอนหลายชนิดเป็นทอดๆ ดังนี้
  >> เริ่มจากพลาสโตควิโนน (Plastoquinone) >> ไซโตโครมคอมเพล็กซ์ (Cytochrome Complex) >> พลาสโตไซยานิน (Plastocyanin) >> แล้วส่งต่ออิเล็กตรอนกลับมาที่คลอโรฟิลล์เอ ที่ศูนย์กลางการเกิดปฏิกิริยาของระบบแสง 1 อีกครั้ง
  >> การที่อิเล็กตรอนถูกส่งเป็นทอดๆ แบบนี้ พลังงานของอิเล็คตรอนจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ ATP ซึ่งจะถูกนำไปใช้สร้างน้ำตาลในวัฏจักรเคลวินต่อไป
- เนื่องมาจากคลอโรฟิลล์ เอ ที่ศูนย์กลางการเกิดปฏิกิริยาของระบบแสง 2 ก็ต้องการอิเล็กตรอนคืน จึงเกิดการแย่งอิเล็กตรอนมาจากน้ำ ทำให้น้ำแตกตัวได้เป็นก๊าซออกซิเจนนั่นเอง

2. การสร้างน้ำตาลด้วยการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

- เกิดขึ้นที่ไซโตรมาซึ่งเป็นของเหลวในคลอโรพลาสต์
- เป็นการใช้วัฏจักรเคลวิน (Calvin Cycle) ในการสร้างและใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นปัจจัยหลัก
  - เคยถูกเรียกว่า 'ปฏิกิริยาไม่ใช้แสง (Dark Reaction)' เพราะคิดว่าไม่ต้องใช้แสง แต่ที่จริงแล้วต้องใช้
- เพื่อเป็นการสร้างพลังงานเคมี (น้ำตาลกลูโคส) โดยใช้พลังงานจาก ATP และ NADPH
- ที่ได้มาจากปฏิกิริยาแสง
- ประกอบด้วยปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน ดังนี้

  - ขั้นตอนที่ 1 คาร์บอกซิเลชัน (Carboxylation) : เป็นการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
    - น้ำตาลไรบูโลสบิสฟอสเฟต (Ribulose-1,5-Bisphosphate หรือ RuBP) ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม ทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้ามา
    - โดยมีเอนไซม์รูบิสโก (Rubisco) เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยา
    - ครั้งแรกได้เป็นสารที่มีคาร์บอน 6 อะตอม แต่ไม่เสถียรจึงแตกตัวออกเป็น 2 โมเลกุล
    - ได้สารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอม จำนวน 2 โมเลกุล ต่อการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมเลกุล เรียกว่า กรดฟอสโฟกลีเซอริก (Phosphoglyceric Acid, PGA) ซึ่งเป็นสารเสถียรตัวแรก โดยพืชที่มีสารเสถียรตัวแรกเป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอมนี้ เรียกว่า พืช C_3

- ขั้นตอนที่ 2 รีดักชัน (Reduction)
  - PGA แต่ละโมเลกุลทำปฏิกิริยารวมกับ ATP และรีดิวซ์กับ NADPH
  - ได้น้ำตาลกลีเซอรอลดีไฮด์ 3-ฟอสเฟต (Glyceraldehyde 3-phosphate, G3P) เป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม หรือฟอสโฟกลีเซอรอลดีไฮด์ (Phosphoglyceraldehyde, PGAL) 6 โมเลกุล
  - โดยน้ำตาล PGAL จำนวน 1 โมเลกุล จะถูกนำไปสร้างเป็นกลูโคส หรือคาร์โบไฮเดรตที่โมเลกุลใหญ่ขึ้น
- ขั้นตอนที่ 3 รีเจเนอเรชัน (Regeneration) : เป็นการสร้าง RuBP สำหรับไว้ตรึงคาร์บอนไดออกไซด์อีกครั้ง
  - น้ำตาล PGAL อีก 5 ตัวที่เหลือ ไปทำปฏิกิริยากับ ATP ได้เป็นน้ำตาล RuBP อีกครั้ง
  - จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นที่ 1 อีกครั้ง

โดย 1 PGAL จะสร้างได้ 1/2 กลูโคส ดังนั้นต้องเกิดวัฏจักร 2 ครั้ง จึงจะได้ 1 กลูโคส

7. การหายใจแสง หรือ โฟโตเรสไพเรชัน (Photorespiration)

กระบวนการนี้ทำให้พืชเสียพลังงาน ATP ไปมากกว่าที่จำเป็น แต่ก็มีประโยชน์ถ้าพืชมีการสะสม ATP มากเกินไป โดยการที่เอนไซม์รูบิสโก (Rubisco) จับกับน้ำตาล RuBP ได้ดี สามารถทำปฏิกิริยาได้ทั้งกับ

- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เรียกว่า 'คาร์บอกซิเลชัน (Carboxylation)' ซึ่งกล่าวถึงไปแล้วว่า เป็นกระบวนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในวัฏจักรเคลวิน
- ก๊าซออกซิเจน (O_2) เรียกว่า 'ออกซิเจเนชัน (Oxygenation)' เกิดขึ้นในภาวะที่เผชิญกับอากาศร้อน เพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลอยหายไปจนเบาบาง เอนไซม์รูบิสโกจะหันไปจับกับก๊าซออกซิเจนแทน แล้วได้สารเสถียรตัวแรกเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม จากนั้นจึงแตกตัวเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม 1 ตัว ซึ่งก็คือ PGAL นอกจากนี้ยังได้น้ำตาลที่มีคาร์บอน 2 อะตอมซึ่งใช้งานไม่ได้ จึงต้องใช้พลังงาน ATP ผลักดันสารนี้ออกไปจากระบบโดย 'การหายใจแสง (Photorespiration)'

- ทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์น้ำตาลด้อยกว่ากระบวนการคาร์บอกซิเลชัน (Carboxylation) มาก แถมยังต้องเปลืองพลังงาน ATP เพื่อขับไล่ผลิตภัณฑ์ที่ใช้การไม่ได้อีกด้วย

8. กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์

ในพืช C_4 และ พืช CAM

พืช C_3

- เป็นพืชทั่วไป เช่น มะม่วง มะลิ กล้วย สน ถั่ว และข้าวเหนียว
- สารเสถียรที่ได้จากการสร้างสารประกอบ คือ 'กรด PGA' ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอม
- โครงสร้างของใบพืช C_3
  - ใบวางตัวตามแนวราบ
  - หลังใบด้านที่มีสีเขียวเข้มจะโดนแดดมากจึงมี 'คิวติเคิล (Cuticle)' เคลือบกันการเสียน้ำ
  - ท้องใบไม่มีคิวติเคิลแต่มี 'ปากใบ (Stomata)' ที่ทำหน้าที่ควบคุมการคายน้ำ รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้า และนำก๊าซออกซิเจนออก
- มีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วยวิธีการที่กล่าวไปข้างต้นแล้ว

พืช C_4

- ส่วนใหญ่เป็นพืชเขตร้อนหรือกึ่งร้อนตามบริเวณในเขตเส้นศูนย์สูตร เช่น ข้าวฟ่าง ข้าวโพด อ้อย บานไม่รู้โรย
- ในใบมีคลอโรพลาสต์แทรกอยู่บริเวณเซลล์ 'บันเดิลชีท (Bundle Sheath Cell)' ซึ่งเป็นเซลล์เยื่อหุ้มท่อลำเลียงทำให้แข็งแรงมากขึ้น
- วัฏจักรคาร์บอนของพืช C_4
  - กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C_4 จะเหมือนกับในพืช C_3 แต่เนื่องจากอยู่ในเขตร้อนทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายได้ไม่ดี ทำให้ตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ยากขึ้น และมีการหายใจแสงเกิดขึ้นตลอดเวลาที่อากาศร้อน จึงต้องแก้ปัญหาด้วยการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ครั้ง หรือเรียกอีกชื่อว่า 'กระบวนการแฮทช์-สแลก (Hatch-Slack Pathway)' ตามชื่อของนักวิทยาศาสตร์ที่ค้นพบ

สรุปขั้นตอนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้ง 2 ครั้งของพืช C_4 ได้ ดังนี้

- ครั้งที่ 1 เกิดตรงบริเวณมีโซฟิลล์ (Mesophyll) หรือ เนื้อใบ
  - >> เป็นการนำ 'กรดฟอสโฟอีนอลไพรูเวต (Phosphoenolpyruvate, PEP)' ซึ่งเป็นกรดที่มีคาร์บอน 3 อะตอม มาทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้ามา
  - >> โดยมีเอนไซม์ 'พีอีพี คาร์บอกซีเลส (PEP Carboxylase)' เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาซึ่งดีกว่ารูบิสโกตรงที่ไม่ทำให้พืชเกิดการหายใจแสงเพราะจับเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
  - >> ได้สารประกอบที่มีคาร์บอน 4 อะตอม เรียกว่า 'กรดออกซาโลแอซิเตต (Oxaloacetate หรือ OAA)' ซึ่งเป็นสารเสถียรตัวแรก โดยพืชที่มีสารเสถียรตัวแรกเป็นสารที่มีคาร์บอน 4 อะตอมนี้ เรียกว่า พืช C_4
  - >> จากนั้นจึงเปลี่ยน OAA ให้เป็น 'กรดมาลิก (Malic Acid) หรือมาเลต (Malate)' ที่มีคาร์บอน 3 อะตอม
  - >> ต่อมากรดมาลิกที่ได้จะถูกลำเลียงเข้าไปในเซลล์บันเดิลชีทต่อไป
- ครั้งที่ 2 เซลล์บันเดิลชีท
  - >> กรดมาลิกที่เข้ามาจะเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอม และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะเข้าสู่วัฏจักรเคลวินต่อไป ส่วนสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอมจะถูกนำไปเปลี่ยนเป็น PEP เพื่อใช้ตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีก

เซลล์บันเดิลชีทจึงมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าบริเวณอื่น

พืช CAM

ย่อมาจาก

Crassulacean Acid Metabolism

- เป็นพืชอวบน้ำ ทนต่อความแห้งแล้ง เช่น กระบองเพชร สับปะรด ว่านหางจระเข้ และศรนารายณ์
- ส่วนมากจะอยู่ตามทะเลทราย หรือที่ที่มีความแห้งแล้งสูง ทำให้สูญเสียน้ำได้ง่าย
- มักมีการปรับตัวเพื่อลดอัตราการสูญเสียน้ำ ดังนี้
  - มีใบขนาดเล็ก หรือมีชั้นคิวติเคิลที่หนากว่าปกติ เพื่อลดพื้นที่ในการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำ และลดการดูดซับแสง
  - รูปากใบจะเปิดในเวลากลางคืน เป็นการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ครั้งแรก เพื่อผลิตกรดมาลิก (Malic Acid) เก็บไว้ในเซลล์ปริมาณมาก โดยนำ PEP มาตรึงกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และใช้เอนไซม์ PEP Carboxylase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้เป็นกรด OAA ที่มีคาร์บอน 4 อะตอม ต่อมากรด OAA จะเปลี่ยนเป็นกรดมาลิกที่มีคาร์บอน 3 อะตอม

- รูปากใบจะปิดในเวลากลางวัน เป็นการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ครั้งที่ 2 โดยกรดมาลิกที่เก็บไว้ในเซลล์ตอนกลางคืน จะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาสู่คลอโรพลาสต์ เพื่อใช้ในการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในวัฏจักรเคลวินที่เซลล์มีโซฟิลล์ต่อไป

ตารางเปรียบเทียบความแตกต่างของพืชแต่ละชนิด

	พืช C_3	พืช C_4	พืช CAM
เวลาที่สังเคราะห์ด้วยแสง	กลางวัน	กลางวัน	กลางวัน
ช่วงเวลาในการตรึง CO_2	กลางวัน	กลางวัน	กลางคืน
จำนวนครั้งในการตรึง CO_2	1	2	2
สารตั้งต้นที่ใช้ตรึง CO_2	RuBP	PEP	PEP
เอนไซม์ที่ใช้ตรึง CO_2	Rubisco	PEP Carboxylase	PEP Carboxylase
สารเสถียรตัวแรกที่ได้	PGA (3C)	OAA (4C)	OAA (4C)
เซลล์บันเดิลชีท	มี / ไม่มี	มี (มีคลอโรพลาสต์ในนี้)	มี / ไม่มี
บริเวณที่เกิดวัฏจักรเคลวิน	มีโซฟิลล์	เซลล์บันเดิลชีท	มีโซฟิลล์
อัตราการหายใจแสง	สูง	ต่ำ	ต่ำ

๑. ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

แสงและความเข้มของแสง

- ไลท์คอมเพนเซชันพ้อยต์ (Light Compensation Point)
  - เป็นจุดของความเข้มแสงที่ทำให้พืชมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจแสงสมดุลกัน
    >> อัตราการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
- จุดอิ่มตัวของแสง (Light Saturated Point)
  - ความเข้มแสงสูงสุดที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าสูงสุด แม้ว่าจะเพิ่มความเข้มแสงให้มากกว่านี้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงก็จะไม่เพิ่มขึ้นตาม

อุณหภูมิ

- มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์รูบิสโก (Rubisco) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น รูบิสโกจะทำงานไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้
  - พืช C_3 มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อยลงและมีอัตราการหายใจแสงเพิ่มขึ้น
  - พืช C_4 จะสลับมาใช้ พีอีพี คาร์บอกซิเลส (PEP Carboxylase) ในการสังเคราะห์ด้วยแสงแทน
- อากาศร้อนทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเจือจาง จึงทำให้เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

- คาร์บอนไดออกไซด์คอมเพนเซชันพ้อยต์ (Carbon Dioxide Compensation Point)
  - เป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศค่าหนึ่งที่ทำให้พืชมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจแสงสมดุลกัน
    - อัตราการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
- จุดอิ่มตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide Saturated Point)
  - ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศสูงสุดที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าสูงสุด ไม่ว่าจะเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้มากกว่านี้ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงก็จะไม่เพิ่มขึ้นตาม

ปัจจัยอื่นๆ

- อายุใบ
  - ใบพืชที่เจริญเติบโตเต็มที่ จะสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีกว่าใบพืชที่อ่อนหรือแก่เกินไป
- ปริมาณน้ำที่พืชได้รับส่งผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง
  - ถ้าน้ำไม่เพียงพอ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะแพร่เข้าไปได้ยาก เพราะปากใบจะปิดเพื่อลดการคายน้ำ
  - ถ้าน้ำมากเกินไป เช่น อยู่ในภาวะน้ำท่วมขัง จะทำให้รากพืชขาดก๊าซออกซิเจนเพื่อใช้ในการหายใจ
- สารอาหารที่จำเป็นต่อสารสีที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น คลอโรฟิลล์ ต้องการธาตุแมกนีเซียมและไนโตรเจน หากขาดไปจะทำให้ใบมีสีเหลืองซีด เรียกว่า 'คลอโรซิส (Chlorosis)'

บทที่ 7
เซลล์

สิ่งมีชีวิตมี 'การจัดระบบ (Organization)' เริ่มต้นจากลำดับโครงสร้างจากขนาดเล็กไปขนาดใหญ่ ดังนี้

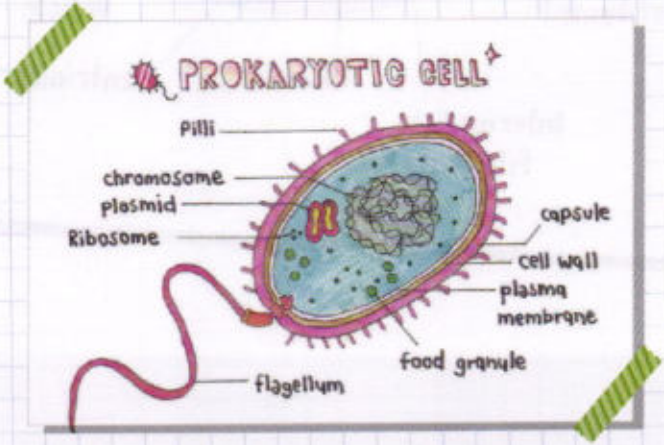
เซลล์ → เนื้อเยื่อ → อวัยวะ → ระบบอวัยวะ → สิ่งมีชีวิต

1. ทฤษฎีของเซลล์

- เสนอโดยธีโอดอร์ ชวันน์ (Theodor Schwann) และมัตทิอัส ชไลเดน (Matthias Schleiden)
- นักวิทยาศาสตร์ทั้ง 2 คน ได้ลงความเห็นออกมาเป็นนิยาม 3 ข้อ ดังนี้
  - สิ่งมีชีวิตทั้งหลายประกอบด้วยเซลล์ตั้งแต่ 1 เซลล์หรือหลายเซลล์ก็ได้
    - ปัจจุบันข้อนี้ยังมีความเห็นค้าน เนื่องจากมีผู้ตั้งข้อสังเกตว่าสิ่งมีชีวิตบางอย่างไม่ได้ประกอบขึ้นจากเซลล์ (Non-Cellular Life) เช่น ไวรัส และไวรอยด์
  - เซลล์เป็นพื้นฐานของโครงสร้างและการจัดระบบของสิ่งมีชีวิต
  - เซลล์ทั้งหลายล้วนเกิดขึ้นจากเซลล์ก่อนหน้า

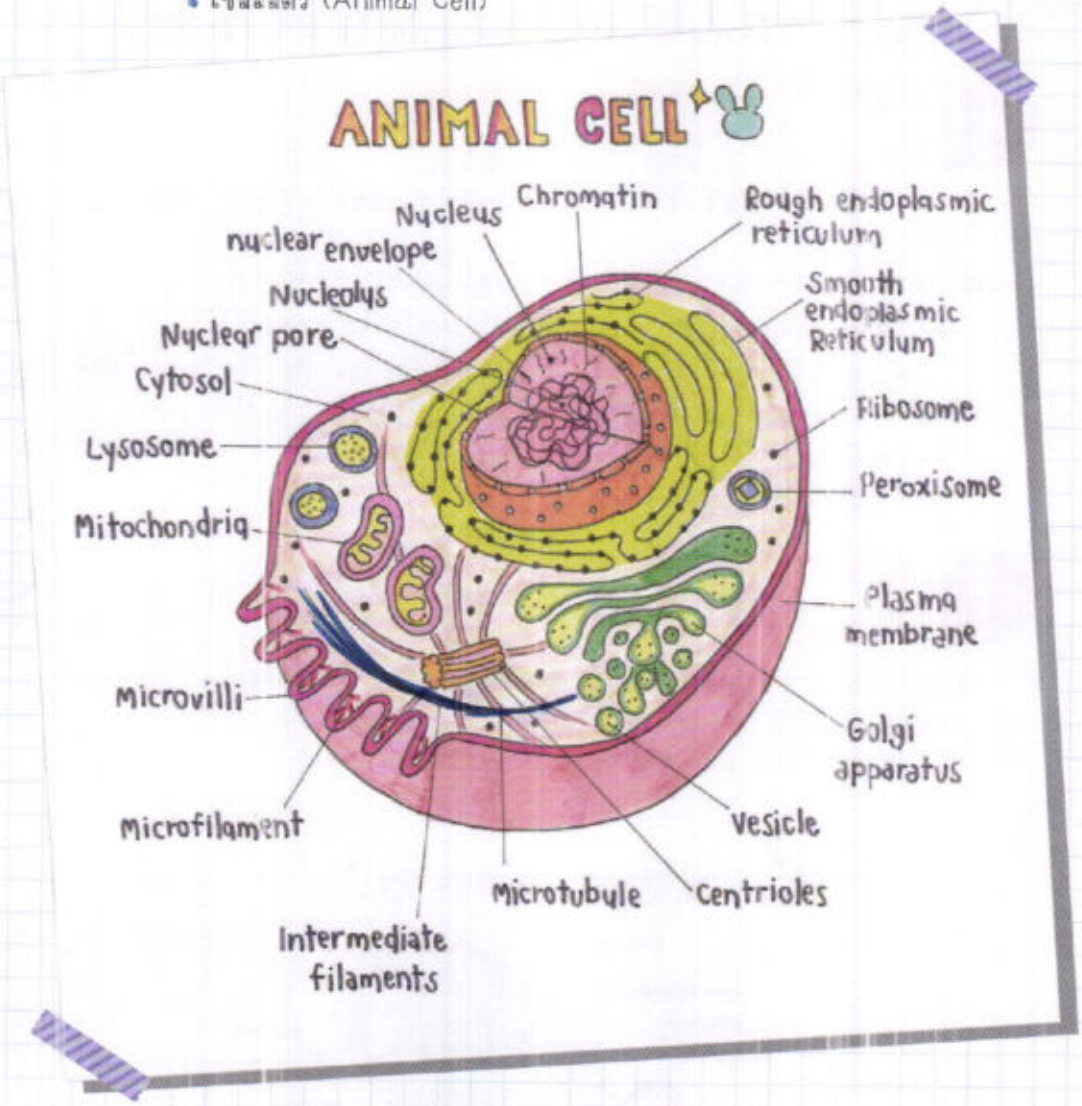
2. ชนิดของเซลล์

- เซลล์มีโครงสร้างภายในบางอย่างที่แตกต่างกัน แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่
  - โพรแคริโอติกเซลล์ หรือ พวกโพรแคริโอต (Prokaryotic Cell หรือ Prokaryote) ได้แก่ สิ่งมีชีวิตในอาณาจักรมอเนอราทั้งหมด

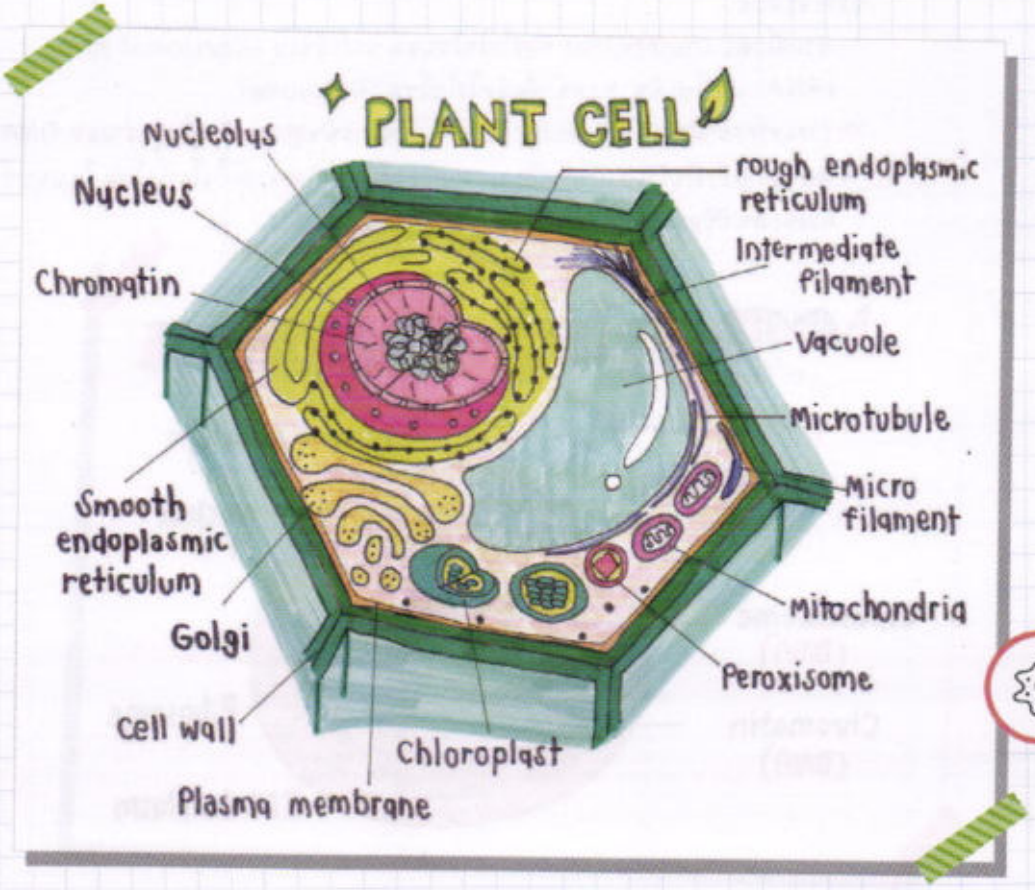


- ยูแคริโอติก เซลล์ หรือ พวกยูแคริโอต (Eukaryotic Cell or Eukaryote)
ได้แก่ สิ่งมีชีวิตในอาณาจักโพรทิสตา อาณาจักรฟังไจ อาณาจักรพืช และอาณาจักรสัตว์ แบ่งออกเป็น

• เซลล์สัตว์ (Animal Cell)



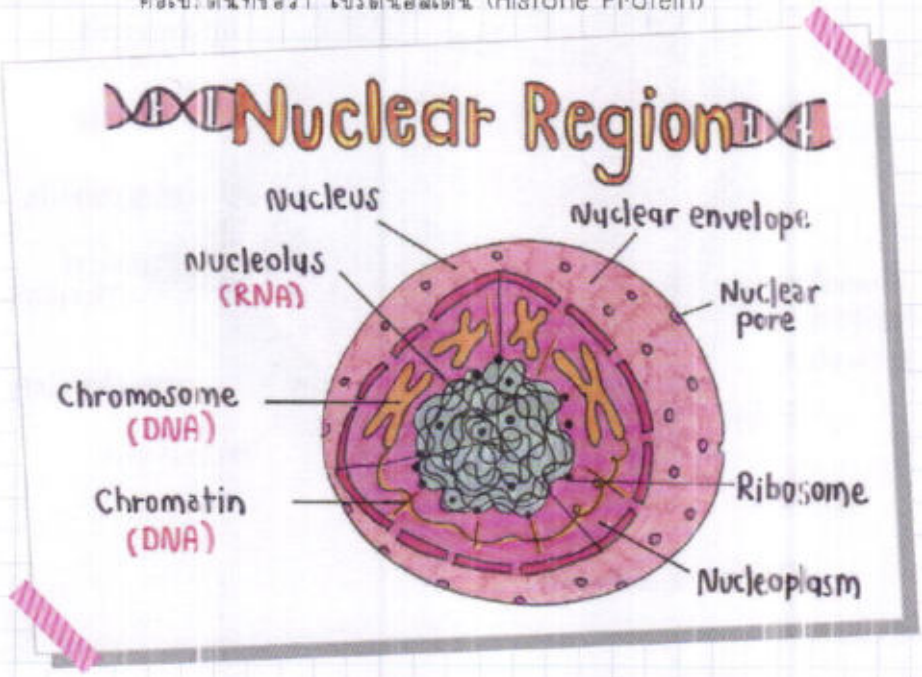
• เซลล์พืช (Plant Cell)



3. ส่วนประกอบของเซลล์

- พวกโพรแคริโอตจะมีส่วนประกอบหลักคล้ายๆ กัน
  - แต่ส่วนประกอบในพวกยูแคริโอตจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับว่าเป็นเซลล์ที่จัดอยู่ในประเภทไหน ระหว่างเซลล์คล้ายสัตว์ (Animal-liked Eukaryote) หรือ เซลล์คล้ายพืช (Plant-liked Eukaryote)
- ส่วนประกอบหลักๆ ของเซลล์ แบ่งเป็น 2 บริเวณ ได้แก่
  1. บริเวณที่เป็นสารพันธุกรรม (Nuclear Region) คือ บริเวณที่ควบคุมการทำงานต่างๆ ภายในเซลล์และมีสารพันธุกรรมอยู่เต็มไปหมด แบ่งเป็น 2 บริเวณ ได้แก่
     - บริเวณเยื่อหุ้มนิวเคลียส (Nuclear Envelope) มีรูเข้า-ออก เรียกว่า 'นิวเคลียร์พอร์ (Nuclear Pore)'

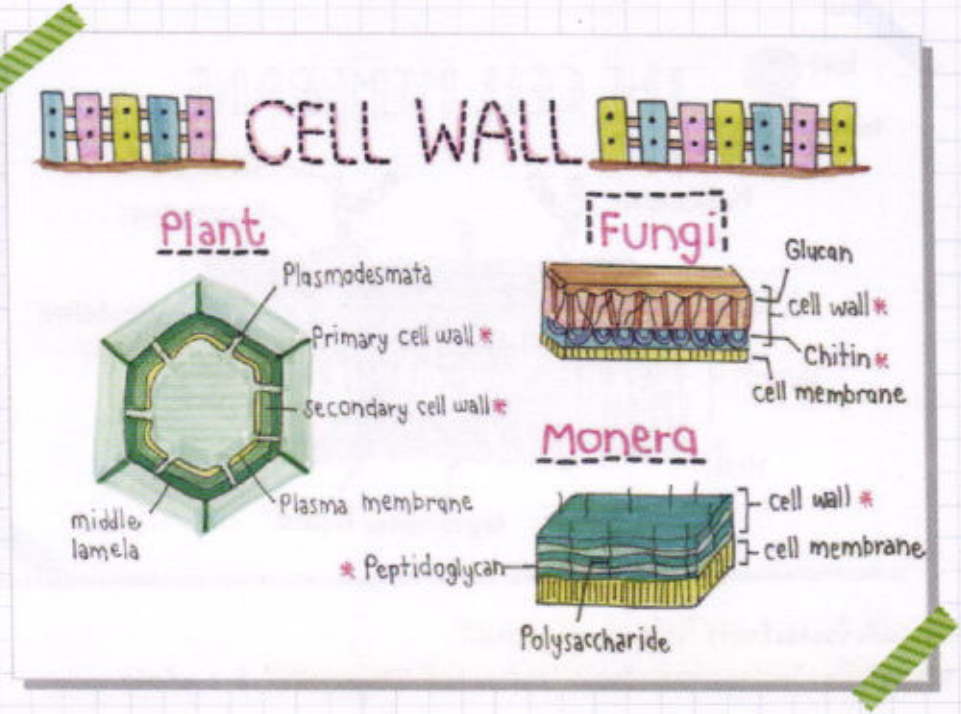
- บริเวณภายในเยื่อหุ้มนิวเคลียส เรียกว่า 'นิวคลีโอพลาสซึม (Nucleoplasm)' ประกอบด้วย
  >> นิวคลีโอลัส (Nucleolus) ซึ่งมีไรโบโซมอล อาร์เอ็นเอ (Ribosomal RNA, rRNA) และโปรตีน ทำหน้าที่ผลิตไรโบโซม (Ribosome)
  >> ร่างแห่โครมาติน (Chromatin Fiber) เป็นสารพันธุกรรมที่อยู่ในรูปร่างแห DNA พันอยู่กับโปรตีนจำเพาะ เมื่อถึงเวลาแบ่งเซลล์จะหดตัวกลายเป็นโครโมโซม ในมนุษย์คือโปรตีนที่ชื่อว่า 'โปรตีนฮิสโตน (Histone Protein)'



2. บริเวณไซโตพลาสซึม (Cytoplasm) แบ่งเป็น 3 บริเวณ ได้แก่

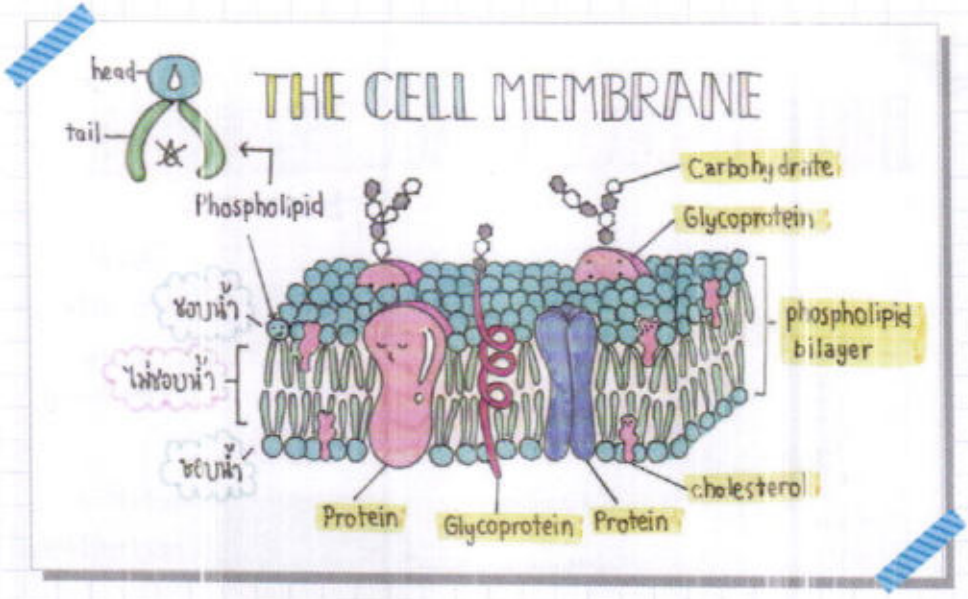
— บริเวณที่เป็นขอบเขตของเซลล์ ประกอบด้วย

- ผนังเซลล์ (Cell wall)
  >> พบในสิ่งมีชีวิตอื่นนอกเหนือจากสัตว์
  >> แตกต่างกันไปตามส่วนประกอบ โดยผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิตจาก
  → อาณาจักรมอเนอรา ทำมาจากเพปทิโดไกลแคน (Peptidoglycan)
  → อาณาจักรโพรทิสตา เฉพาะพวกสาหร่าย มีความหลากหลาย เช่น ไดอะตอม เป็นซิลิกา (Silica) และเซลลูโลส (Cellulose)
  → อาณาจักรฟังไจ เป็นสารไคติน (Chitin)
  → อาณาจักรพืช เป็นเซลลูโลส (Cellulose) มีช่องเปิด เรียกว่า พลาสโมเดสมาตา (Plasmodesmata) และมี 2 ชั้น



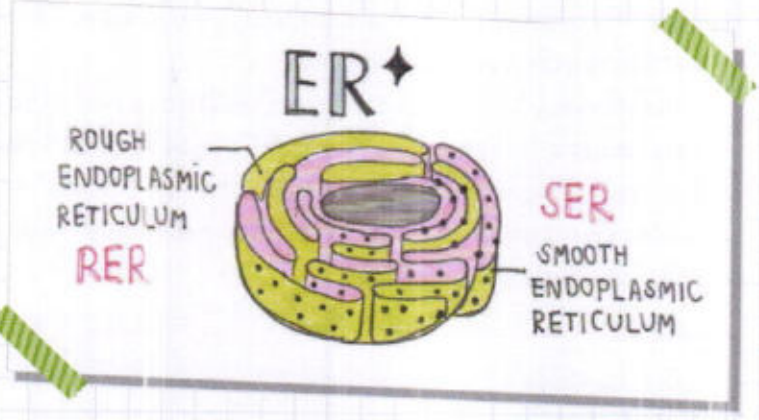
- เยื่อหุ้มเซลล์ (Plasma membrane)
  >> มีลักษณะเป็นของไหล (Fluidity) ซึ่งเป็นผลมาจากส่วนประกอบดังต่อไปนี้
  - ไขมันประเภทฟอสโฟลิพิดเรียงตัวเป็น 2 ชั้น (Phospholipid Bilayer) เป็นของไหล (Fluidity) โดยฟอสโฟลิพิดทั้ง 2 ชั้นจะหันส่วนหางที่ไม่มีขั้ว หรือส่วนที่กลัวน้ำ (Hydrophobic Tail) เข้าหากัน และหันส่วนหัวที่มีขั้ว หรือส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic Head) ออกด้านนอก
  - มีสารดังต่อไปนี้แทรกอยู่บ้างเล็กน้อย ได้แก่
    → โปรตีน (Protein) ทำหน้าที่เป็นตัวรับ (Receptor), แอนติเจน (Antigen), และตัวพาสารเข้า-ออกเซลล์ (Carrier)
    → คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ทำหน้าที่ส่งสัญญาณระหว่างเซลล์
    → คอเลสเตอรอล (Cholesterol) ทำหน้าที่เพิ่มความยืดหยุ่นให้เยื่อหุ้มเซลล์

  >> โครงสร้างแบบนี้ เรียกว่า 'ฟลูอิด โมเสก โมเดล (Fluid Mosaic Model)' มีคุณสมบัติยอมให้สารบางอย่างเท่านั้นที่ผ่านได้ (Semi-permeable Membrane) เช่น ยอมให้กลูโคสผ่าน แต่ไม่ยอมให้ซูโครสผ่าน



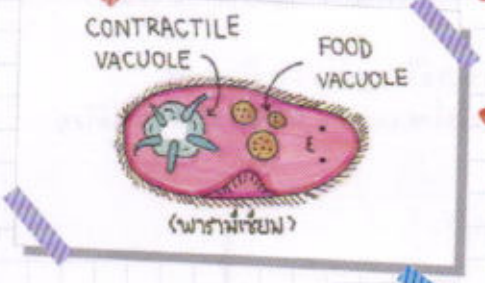
- บริเวณที่เป็นเจลเรียกว่า 'ไซโตซอล (Cytosol)'
- บริเวณที่เป็นอวัยวะของเซลล์ เรียกว่า 'ออร์แกเนลล์ (Organelle)' มี 2 ชนิดคือ

- ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม (Membranous Organelle) แบ่งเป็น
  - แบบมีเยื่อหุ้มชั้นเดียว ได้แก่
    - เอนโดพลาสมิก เรติคูลัมชนิดขรุขระ (Rough Endoplasmic Reticulum หรือ RER) ทำหน้าที่ผลิตและลำเลียงโปรตีนสำหรับใช้นอกเซลล์
    - เอนโดพลาสมิก เรติคูลัมชนิดเรียบ (Smooth Endoplasmic Reticulum, SER) ทำหน้าที่ผลิตและลำเลียงสารประเภทไขมัน และกำจัดสารพิษ หรือสารที่เป็นอันตรายต่อเซลล์ เช่น แอลกอฮอล์



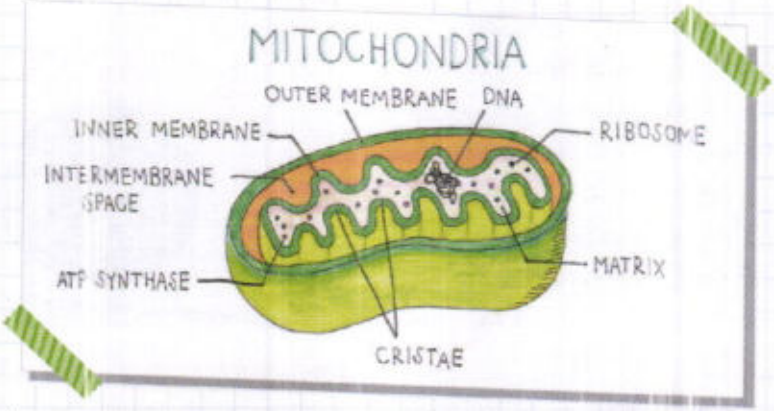
- **กอลจิ คอมเพล็กซ์ (Golgi Complex)** มีหน้าที่แต่งเติมสารประเภทคาร์โบไฮเดรตให้ผลิตไลโซโซม (Lysosome) และเพอร์ออกซิโซม (Peroxisome)
- **ไลโซโซม (Lysosome)** เป็นถุงที่หลุดออกมาจากกอลจิ คอมเพล็กซ์ (Golgi Complex) ในถุงบรรจุเอนไซม์สำหรับย่อยสิ่งแปลกปลอม หรือออร์แกเนลล์ที่ไม่ใช้หรือหมดอายุ หรือเรียกว่า 'ออโตไลซิส (Autolysis)'
- **เพอร์ออกซิโซม (Peroxisome)** เป็นถุงที่หลุดออกมาจากกอลจิ คอมเพล็กซ์ (Golgi Complex) ทำหน้าที่กำจัดแอลกอฮอล์ และสลายกรดไขมัน รวมถึงมีเอนไซม์ชื่อ คะตะเลส (Catalase) ที่เปลี่ยนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นพิษให้กลายเป็นน้ำและก๊าซออกซิเจนแทน

- **แวคิวโอล (Vacuole)** แบ่งออกเป็น
  >> ฟูด แวคิวโอล (Food Vacuole) เป็นถุงที่บรรจุอาหารของสิ่งมีชีวิตที่วิวัฒนาการต่ำ เช่น พวกอะมีบา พารามีเซียม (โพรทิสต์) ฟองน้ำ (สัตว์)
  >> คอนแทร็กไทล์ แวคิวโอล (Contractile Vacuole) พบในโพรโตซัวร์ที่อาศัยในน้ำจืดเท่านั้น ทำหน้าที่ขับน้ำส่วนเกินออก เพื่อป้องกันไม่ให้เซลล์แตก
  >> แซป แวคิวโอล (Sap Vacuole) พบในพืช ทำหน้าที่เก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น สารสี น้ำมันหอมระเหย หรือแม้แต่ของเสีย หากมีขนาดใหญ่จะเรียกว่า 'เซ็นทรัล แวคิวโอล (Central Vacuole)' โดยเยื่อหุ้มของมัน เรียกว่า โทโนพลาสต์ (Tonoplast)'

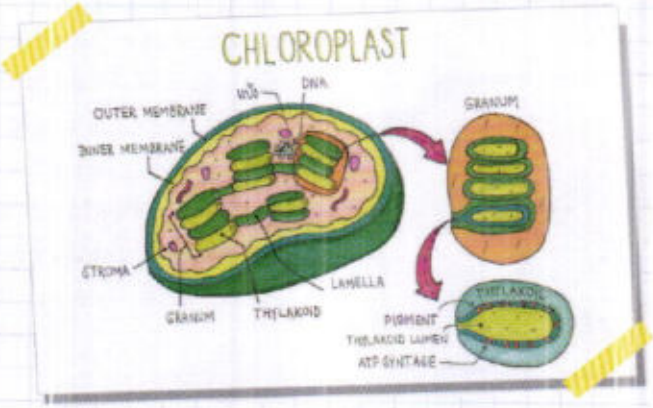


- แบบมีเยื่อหุ้มสองชั้น ได้แก่

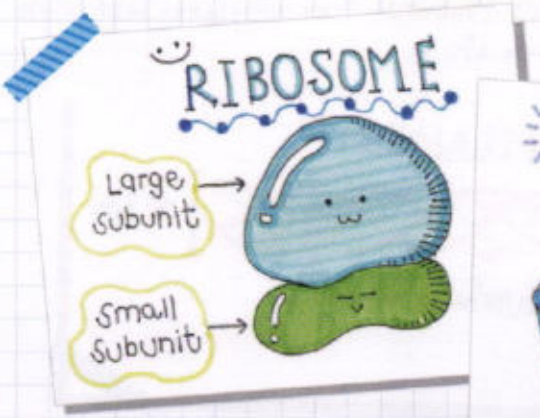
  - **ไมโทคอนเดรีย (Mitochondria)** เป็นออร์แกเนลล์ที่ผลิตพลังงานในรูปของ ATP ในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ โครงสร้างภายในมีดังนี้
    - >> คริสตี (Cristae) เป็นชั้นพับทบไปมา
    - >> เมทริกซ์ (Matrix) เป็นของเหลวที่มีเอนไซม์ในการหายใจระดับเซลล์
    - >> มี Ribosomal DNA และ RNA เป็นของตัวเอง ทำให้จำลองตัวเองขึ้นมาใหม่ได้โดยไม่ต้องรอคำสั่งจากนิวเคลียส

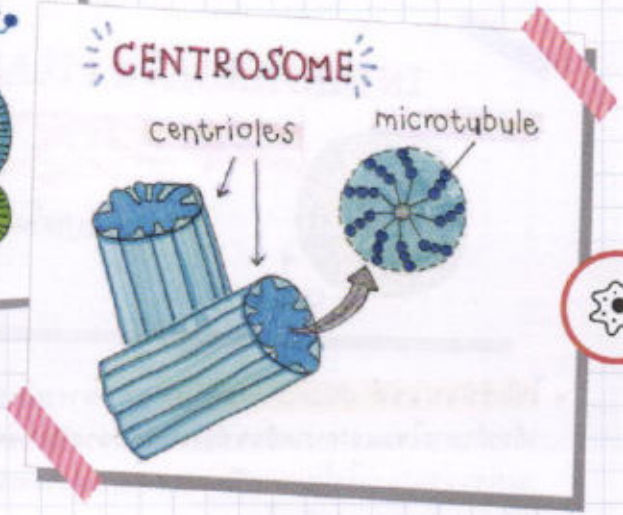


  - **คลอโรพลาสต์ (Chloroplast)** พบในพืชและโพรทิสต์จำพวกสาหร่าย ทำหน้าที่สร้างน้ำตาลและออกซิเจนโดยอาศัยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โครงสร้างภายในมีดังนี้
    - >> เยื่อไทลาคอยด์ (Thylakoid Membrane) เป็นเยื่อที่บรรจุสารสีสำหรับรวมพลังงาน แสง ที่พับทบเป็นตั้งลักษณะคล้ายเหรียญและมีทางเชื่อมถึงกัน เรียกว่า กรานุม Granum)
    - >> สโตรมา (Stroma) เป็นของเหลวที่มีเอนไซม์ในการสังเคราะห์ด้วยแสง
    - >> Ribosomal DNA และ RNA เหมือนในไมโทคอนเดรีย ทำให้จำลองตัวเองได้โดยไม่ต้องรอคำสั่งจากนิวเคลียสเช่นกัน



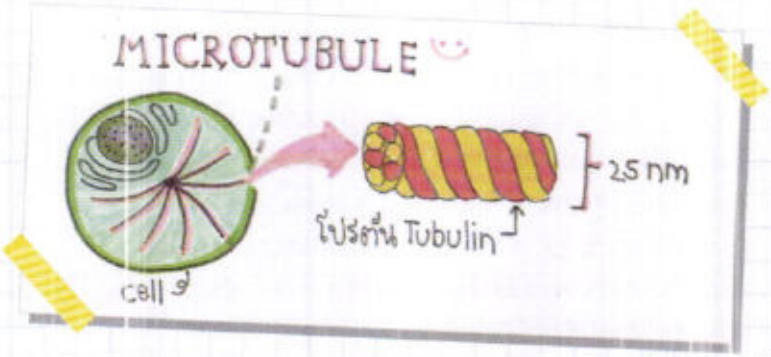
- ออร์แกเนลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้ม (Non-membranous Organelle) ได้แก่
  - ไรโบโซม (Ribosome) ทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีน สร้างมาจากนิวคลีโอลัส (Nucleolus) มี 2 หน่วยย่อย คือ หน่วยเล็กและหน่วยใหญ่ ที่จะมาประกบกันตอนผลิตโปรตีน แบ่งประเภทของไรโบโซมตามตำแหน่งที่อยู่ได้ดังนี้
    - ไรโบโซมที่ลอยอยู่อิสระ ทำหน้าที่ผลิตโปรตีนใช้ภายในเซลล์
    - ไรโบโซมที่เกาะตาม ER ทำหน้าที่ผลิตโปรตีนส่งออกนอกเซลล์
    - ไรโบโซมในคลอโรพลาสต์และไมโทคอนเดรีย ทำหน้าที่ผลิตโปรตีนไว้ใช้ในนั้น
    - ไรโบโซมที่เกาะบนเยื่อหุ้มนิวเคลียส



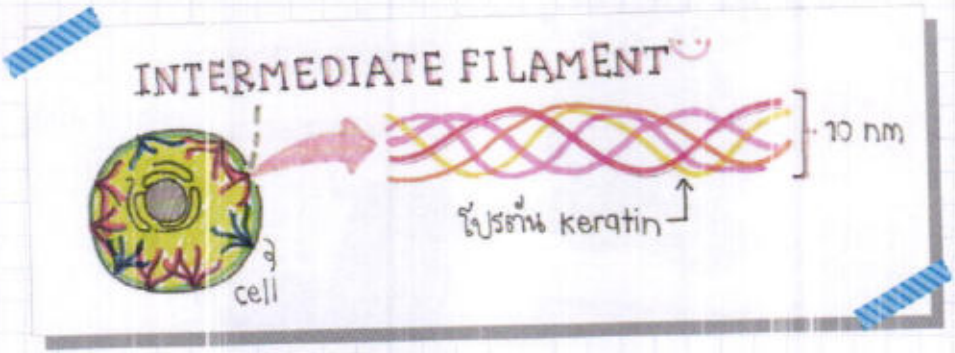


  - เซนทริโอล (Centriole)
    - ในพืชและฟังไจไม่ถือว่ามีเซนทริโอล แต่มีลักษณะเป็นเซนทริโอล 2 อันตั้งฉากกัน เรียกว่า เซนโตรโซม (Centrosome)
    - ทำหน้าที่สร้างเส้นใยสปินเดิล (Spindle) ซึ่งทำหน้าที่แยกโครโมโซมออกจากกันในขณะแบ่งเซลล์
    - ทั้งเซนทริโอลและเซนโตรโซมต่างก็สามารถเพิ่มจำนวนได้ด้วยตัวเอง

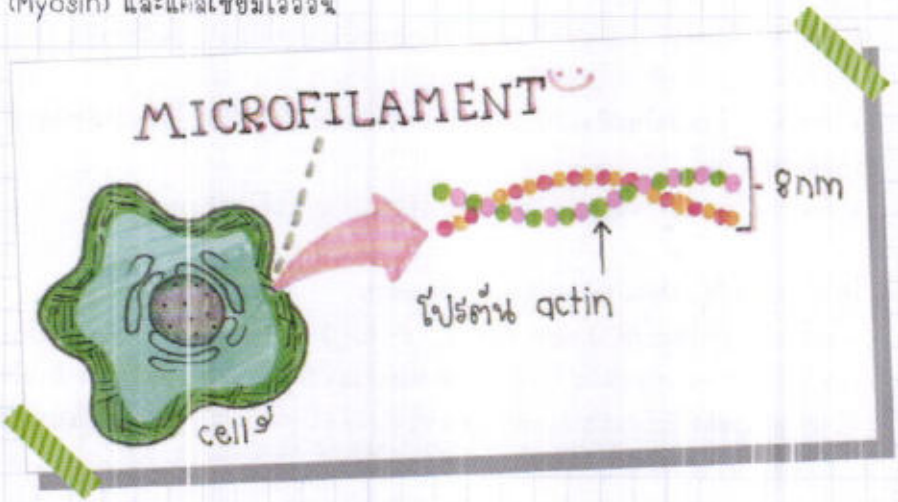
  - ไซโทสเกเลตอน (Cytoskeleton) ประกอบด้วย
    - ไมโครทิวบูล (Microtubule) ทำจากโปรตีนทิวบูลิน (Tubulin) ที่เป็นโครงสร้างของเส้นใยต่างๆ เช่น ซิเลีย (Cilia) และแฟลกเจลลา (Flagella) สำหรับการเคลื่อนไหว เส้นใยสปินเดิล (Spindle Fiber) และเซนทริโอล (Centriole) สำหรับการแบ่งเซลล์ ทำหน้าที่เป็นรางสำหรับให้ออร์แกเนลล์อื่นเคลื่อนที่



- **อินเตอร์มีเดียต ฟิลาเมนต์ (Intermediate Filament)** ทำหน้าที่ค้ำจุนเซลล์ โดยทำมาจากโปรตีนชื่อ เคราติน (Keratin) พบในผม ขน เล็บ ฯ



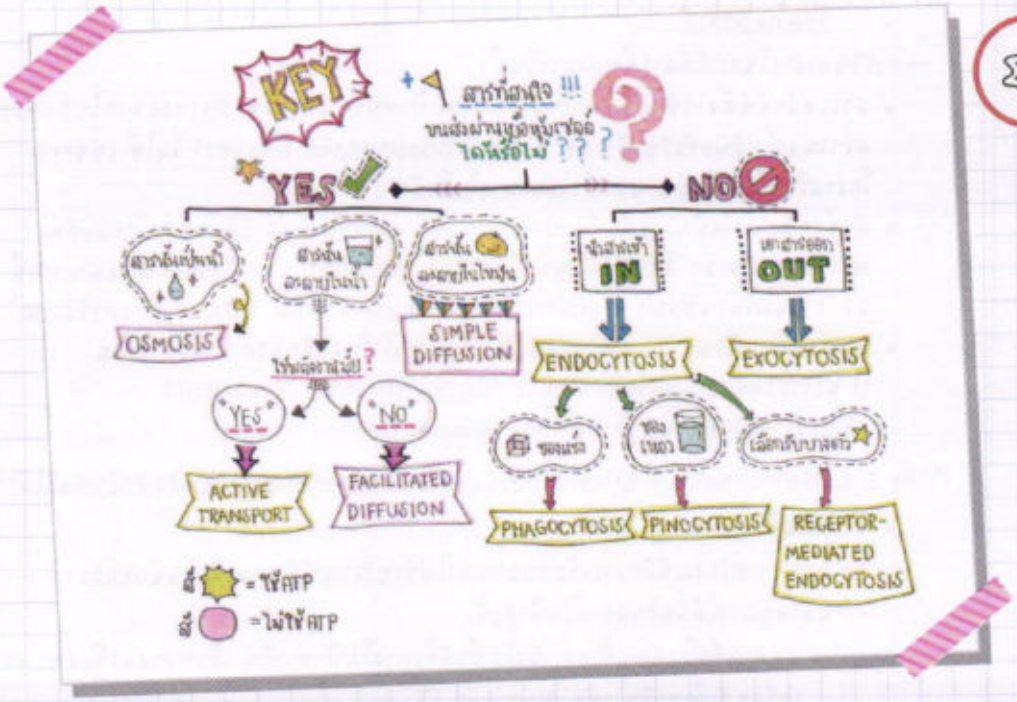
- **ไมโครฟิลาเมนต์ (Microfilament)** สร้างมาจากโปรตีนที่ชื่อว่า แอกติน (Actin) ทำหน้าที่เกี่ยวกับการไหลและการเคลื่อนที่ของไซโตพลาสซึม เช่น การสร้างเท้าเทียมของอะมีบา การควดกิ่วของเซลล์ขณะแบ่งไซโตพลาสซึม การหดคลายตัวของกล้ามเนื้อที่ทำงานกับโปรตีนที่ชื่อว่า ไมโอซิน (Myosin) และแคลเซียมไอออน



4. การลำเลียงสารที่ผ่านเข้าและออกของเซลล์

ภาพรวม

- สิ่งมีชีวิตทุกชนิดจำเป็นที่จะต้องแลกเปลี่ยนสารต่างๆ เข้า-ออกเซลล์ตลอดเวลา
- เยื่อหุ้มเซลล์มีลักษณะเป็นไขมัน (Phospholipid) และมีบางส่วนที่เป็นสารอื่นๆ แทรกตัวอยู่ เช่น โปรตีน คอเลสเตอรอล คาร์โบไฮเดรต จึงทำให้เยื่อหุ้มเซลล์มีคุณสมบัติที่ให้สารบางอย่างผ่านได้เท่านั้น (Semi-permeable)
- ขั้นตอนหลักในการลำเลียงสารของเซลล์
  - สิ่งแรกที่ต้องพิจารณาสาร คือ สารที่ลำเลียงสามารถผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้หรือไม่
  - หากผ่านเข้า-ออกทางเยื่อหุ้มเซลล์ได้ สิ่งที่ต้องคิดต่อไป คือ สารนั้นละลายในไขมันหรือละลายในน้ำ
  - ดังนั้น การลำเลียงสารผ่านเซลล์มีวิธีการที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับว่าสารนั้นมีคุณสมบัติหรือข้อจำกัดอย่างไร
- เขียนแผนผังอธิบายวิธีในการลำเลียงสารของเซลล์ได้ ดังนี้



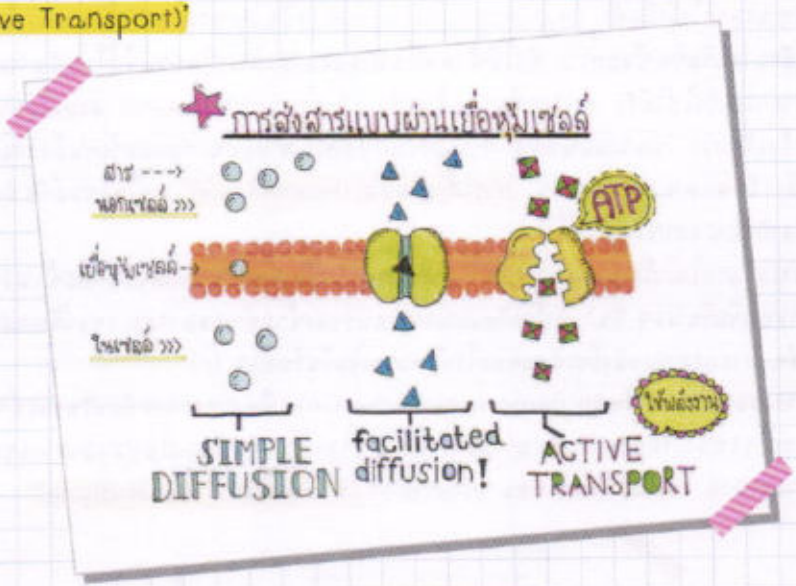
- การขนส่งสารแบบผ่านเยื่อหุ้มเซลล์
  - การขนส่งสารในกรณีที่สารนั้นละลายในไขมัน
    - สารเหล่านี้จะผ่านเข้าออกฟอสโฟลิพิดที่เรียงตัวเป็น 2 ชั้น (Phospholipid Bilayer) ตรงเยื่อหุ้มเซลล์ได้เลย
    - สารที่ละลายในไขมัน โมเลกุลจะไม่มีขั้ว ได้แก่
      - >> ก๊าซออกซิเจน
      - >> ก๊าซไนโตรเจน
      - >> ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพราะถึงมีขั้วไฟฟ้าแต่ก็ไม่เป็นไอออน
      - >> สารพวกไฮโดรคาร์บอน เช่น เอทานอล มีเทน และน้ำ เพราะถึงมีขั้วไฟฟ้าแต่ก็ไม่เป็นไอออนเช่นกัน
    - โดยจะใช้วิธีการแพร่แบบธรรมดา (Simple Diffusion) ในการขนส่ง
      - >> การแพร่แบบนี้ขึ้นอยู่กับแรงที่เกิดจากความเข้มข้นของสาร (Concentration Gradient) เท่านั้น
      - >> ซึ่งปกติแล้วสารจะแพร่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นมากกว่าไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า
      - >> เป็นวิธีที่ไม่ต้องใช้พลังงานในการขนส่ง เรียกว่า 'พาสซีฟทรานสปอร์ต (Passive Transport)'
  - การขนส่งสารในกรณีที่สารนั้นละลายในน้ำ
    - สารเหล่านี้ต้องมีตัวช่วยพาไปส่งยังพื้นที่เป้าหมาย เพราะตัวมันเองเทรกไปยังโครงสร้างฟอสโฟลิพิดที่เรียงตัวเป็น 2 ชั้น (Phospholipid Bilayer) ไม่ได้ เนื่องจากโครงสร้างนี้เป็นไขมัน และน้ำไม่ละลายในไขมัน
    - ตัวช่วยดังกล่าวเป็นโปรตีนที่แทรกตัวอยู่ระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์ มีลักษณะคล้ายถังมีท่อตรงกลาง เรียกว่า 'โปรตีนตัวพา (Carrier Protein)' และเรียกวิธีการขนส่งแบบนี้ว่า 'การแพร่ผ่านตัวพา (Facilitated Diffusion)' หรือ 'การแพร่แบบฟาซิลิเทต'
    - การแพร่ผ่านตัวพา (Facilitated Diffusion) ขึ้นอยู่กับแรง 2 แรง ได้แก่
      1) แรงที่เกิดจากความเข้มข้นของสาร (Concentration Gradient)
      2) แรงจากประจุไฟฟ้า (Potential Gradient)

ทั้ง 2 แรงไม่จำเป็นต้องไปในทิศทางเดียวกัน อาจเสริมแรงซึ่งกันและกันหรือหักล้างกันก็ได้

- ซึ่งปกติแล้วสารจะ
  - >> แพร่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นมากกว่าไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า
  - >> และอยู่ภายใต้อิทธิพลทางไฟฟ้าดังนี้
    - → อนุภาคที่มีไอออนซึ่งแตกตัวในน้ำมีขั้วทางไฟฟ้าต่างกัน (ขั้วบวกและขั้วลบ) จะเคลื่อนที่เข้าหากัน เช่น Na^+ และ Cl^-

→ อนุภาคที่มีไอออนซึ่งแตกตัวในน้ำมีขั้วทางไฟฟ้าเหมือนกัน จะผลักกัน เช่น Na^+ กับ Ca^{2+}

- โดยเป็นวิธีที่ไม่ต้องใช้พลังงานในการขนส่งที่เรียกว่า **'พาสซีฟทรานสปอร์ต (Passive Transport)'** เช่นกัน
- บางครั้งการแพร่โปรตีนตัวพาจำเป็นต้องใช้พลังงานเข้าช่วยในการผลักดัน ในกรณีที่ต้องการขนส่งสารต้านแรงความเข้มข้นและต้านแรงทางไฟฟ้า ได้แก่ การขนส่งสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นน้อยไปบริเวณที่มีความเข้มข้นมาก หรือการขนส่งสารไปบริเวณที่ต้านกับทิศทางการเคลื่อนที่
- เพราะแรงไฟฟ้าที่ใช้ในการผลักดันสารอยู่ในรูปไนโตรจีนัสเบสชนิดหนึ่งกับฟอสเฟต 3 โมเลกุล หรือที่เรียกว่า พลังงาน ATP (Adenosine Triphosphate) โดยพลังงานส่วนใหญ่ได้มาจากกระบวนการหายใจระดับเซลล์
- โดยการแพร่ผ่านตัวพาและใช้พลังงานผลักดันสารนี้ เรียกว่า **'แอ็กทีฟทรานสปอร์ต (Active Transport)'**



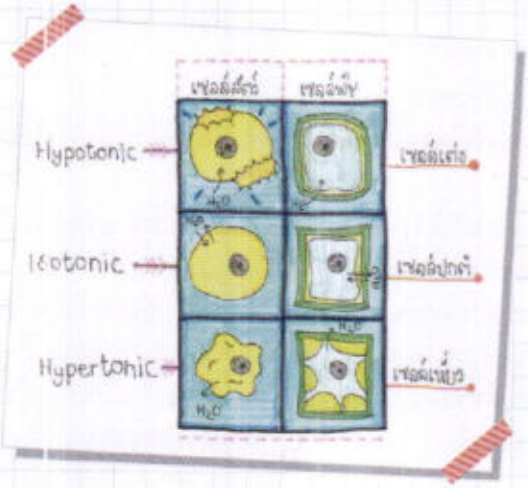
การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านเยื่อหุ้มเซลล์

- บางครั้งเราพิจารณาความเข้มข้นของสารละลายผ่านปริมาตรของน้ำภายในเซลล์และภายนอกเซลล์
  - >> หากปริมาตรน้ำยิ่งมากจะยิ่งเจือจางความเข้มข้นของสารละลายน้อยลง แต่ถ้าปริมาตรน้ำยิ่งน้อยความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ จะยิ่งเข้มข้นมากขึ้นด้วย
  - >> ดังนั้นจึงมีการพิจารณาการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ด้วย เรียกว่า **'การออสโมซิส'**
- การออสโมซิส (Osmosis) การออสโมซิสของน้ำเข้าและออกเซลล์จะเป็นไปตามความเข้มข้นของสารละลาย โดยน้ำจะออสโมซิสจากบริเวณที่มีน้ำมากกว่าไปบริเวณที่มีน้ำน้อยกว่าเสมอ ซึ่งน้ำจะออสโมซิสไปเรื่อยๆ จนกว่าทั้ง 2 บริเวณจะมีความเข้มข้นสมดุลกัน

- แรงดันที่เกี่ยวข้องกับการออสโมซิสมีด้วยกัน 2 ชนิด ได้แก่
  1) แรงดันออสโมติก (Osmotic Pressure) เป็นแรงดันที่สารละลายใช้ต้านการออสโมซิส หรือการเคลื่อนที่ของน้ำจากบริเวณที่มีน้ำมากไปยังบริเวณที่มีน้ำน้อย ทำให้เมื่อมีแรงดันออสโมติกมากจะทำให้น้ำจะเคลื่อนที่ไปได้น้อย โดยแรงดันจะสูงหากสารละลายเข้มข้นมากแต่หากสารละลายมีความเข้มข้นน้อยแรงดันก็จะน้อยเช่นกัน
  2) แรงดันเต่ง (Turgor Pressure) เป็นแรงดันที่เกิดจากน้ำออสโมซิสเข้าไปในเซลล์มากๆ จนทำให้เซลล์บวมหรือเต่งขึ้น โดยพบว่าจุดสมดุลของการแพร่ (Diffusion Equilibrium) คือ

    แรงดันเต่งสูงสุด = แรงดันออสโมติกสูงสุด

- ผลข้างเคียงจากการออสโมซิสนี้บางครั้งอาจทำให้เซลล์เกิดความผิดปกติ เพราะเวลาที่อยู่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน ก็จะทำให้ขนาดของเซลล์ต่างกันไปด้วย โดยสามารถแบ่งสารละลายที่อยู่นอกเซลล์ได้ 3 ชนิด ดังนี้
  1) สารละลายไฮโปโทนิก (Hypotonic Solution) เป็นสารละลายที่มีน้ำมากกว่าในเซลล์ (มีความเข้มข้นน้อยกว่า) ทำให้น้ำจากในสารละลายเข้าไปในเซลล์เป็นปริมาณมาก จนไม่สามารถเข้าไปได้อีก จะเกิดเป็นแรงดันเต่ง (Turgor Pressure) ส่งผลให้เซลล์บวมขึ้น หรือเรียกว่า 'พลาสมอพทิซิส (Plasmoptysis)' หากเป็นเซลล์สัตว์เซลล์อาจแตกได้ เช่น เม็ดเลือดแดงแตก เรียกว่า 'ภาวะฮีโมไลซิส (Haemolysis)' แต่ในเซลล์พืชมีผนังเซลล์ที่ป้องกันการแตกของเซลล์ไว้
  2) สารละลายไอโซโทนิก (Isotonic Solution) เป็นสารละลายที่มีปริมาตรน้ำพอๆ กับเซลล์ (ความเข้มข้นพอๆ กัน) ทำให้เกิดสมดุลการแพร่ของน้ำอย่างเหมาะสม เซลล์จึงคงสภาพอยู่ได้ เช่น สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.9
  3) สารละลายไฮเปอร์โทนิก (Hypertonic Solution) เป็นสารละลายที่มีปริมาตรน้ำน้อยกว่าภายในเซลล์ (ความเข้มข้นมากกว่า) ทำให้น้ำจากในเซลล์ออสโมซิสออกจากเซลล์ไปยังสารละลาย ส่งผลให้เซลล์เหี่ยว หรือเรียกว่า 'พลาสโมไลซิส (Plasmolysis)'



- การขนส่งสารแบบไม่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์
  - การนำสารเข้าเซลล์ (Endocytosis)
    - เป็นการนำเข้าสารจากภายนอกที่มีขนาดใหญ่จนแทรกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ไม่ได้
    - สรุปขั้นตอนการนำสารเข้าเซลล์แบบไม่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้คร่าวๆ ดังนี้

      1) เริ่มจากเยื่อหุ้มเซลล์คอดเข้ามาในไซโตพลาสซึม

      2) จากนั้นโครงสร้างฟอสโฟลิพิดที่เรียงตัวเป็น 2 ชั้น (Phospholipid Bilayer) จะรวมตัวกันเป็นวงกลม

      3) วงกลมนี้หลุดเข้ามาในเซลล์กลายเป็นถุงเวสิเคิล (Vesicle)

      4) ถุงเวสิเคิลจะเคลื่อนที่ไปตามไมโครทิวบูล (Microtubule) ด้วยวิธีเคลื่อนไปตามราง (Monorail) โดยอาศัยพลังงาน ATP เพื่อขนส่งไปยังพื้นที่เป้าหมาย
    - สามารถแบ่งวิธีการนำสารเข้าตามชนิดของสารที่จะนำเข้าได้ 3 วิธี ดังนี้

      1) ฟาโกไซโทซิส (Phagocytosis) เป็นการรับสารที่มีลักษณะเป็นของแข็ง (Solid) ก้อนใหญ่ๆ เข้าเซลล์บางครั้งเรียกว่า 'การกินของเซลล์ (Cell Eating)'

      2) พิโนไซโตซิส (Pinocytosis) เป็นการรับสารที่มีลักษณะเป็นของไหล (Fluid) เข้าสู่เซลล์ บางครั้งเรียกว่า 'การดื่มของเซลล์ (Cell Drinking)'

      3) การนำสารเข้าสู่เซลล์โดยอาศัยตัวรับ (Receptor-Mediated Endocytosis, RME)

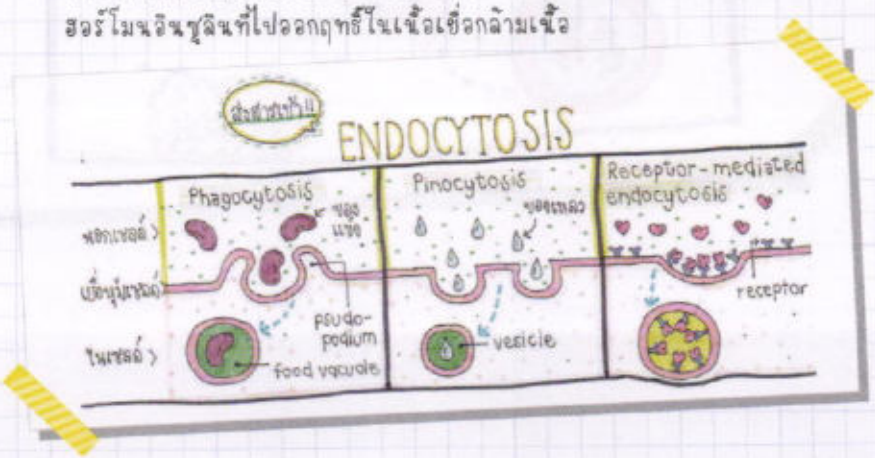
      >> เป็นการเลือกรับสารเฉพาะบางตัวเท่านั้นเข้าสู่เซลล์

      >> ที่เยื่อหุ้มเซลล์จะมีโปรตีนตัวรับ (Receptors) หลายตัวเกาะอยู่ ซึ่งจะรับสารแค่บางชนิดเท่านั้น

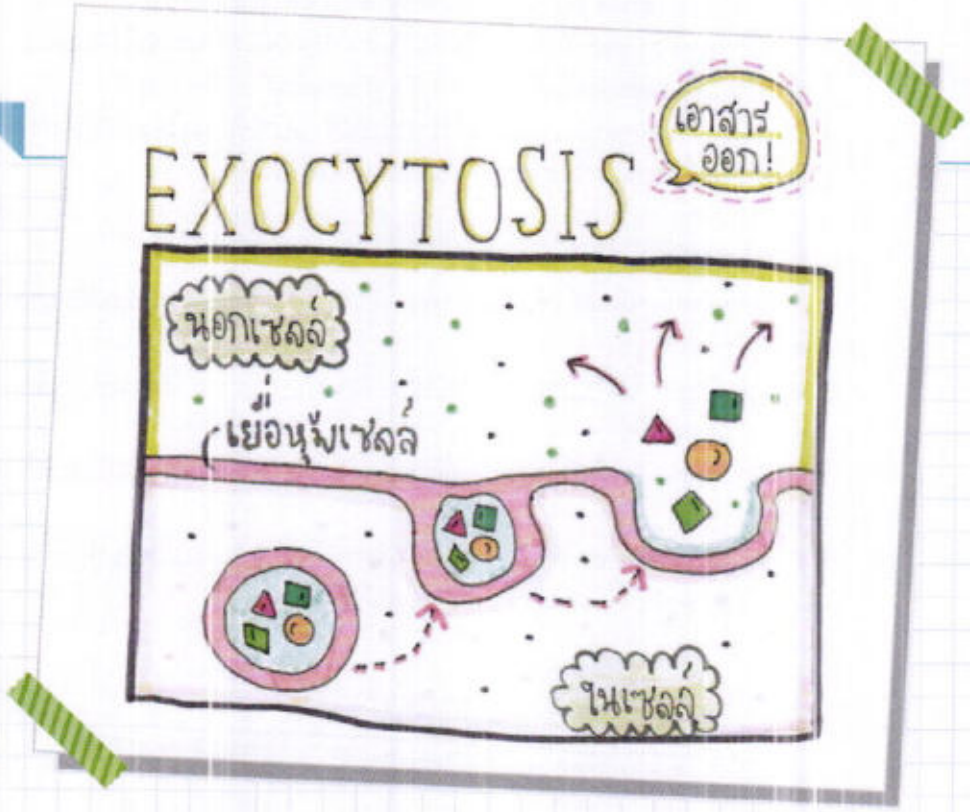
      >> เช่น ตัวรับ A ก็จะจับกับสาร a เท่านั้น ส่วนสาร b c e f ก็จะไม่ถูกจับไว้และค่อยๆ ลอยออกไป

      เมื่อ A จับกับ a แล้ว เยื่อหุ้มเซลล์ก็จะคอดเข้าไปในเซลล์สร้างเป็นถุงเวสิเคิลที่มีแต่สาร a

      >> ตัวอย่างการขนส่งสารแบบนี้ เช่น การขนส่งฮอร์โมนไปที่เซลล์เป้าหมาย อย่างฮอร์โมนอินซูลินที่ไปออกฤทธิ์ในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ



- การนำสารออกจากเซลล์ (Exocytosis)
  - กระบวนการนี้คล้ายกับการนำสารเข้าเซลล์ (Endocytosis) แต่สลับทิศทางกัน
  - สรุปขั้นตอนการนำสารออกจากเซลล์แบบไม่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้คร่าวๆ ดังนี้
    1) เริ่มจากถุงเวสิเคิลในเซลล์ที่บรรจุสารต่างๆ หลุดออกมาจากกอลจิ คอมเพล็กซ์ (Golgi Complex)
    2) จากนั้นถุงเวสิเคิลจะเคลื่อนที่ไปยังเยื่อหุ้มเซลล์
    3) เมื่อไปถึง ถุงเวสิเคิลจะหลอมรวมกับเยื่อหุ้มเซลล์เพื่อผลักดันสารออกไปภายนอก
  - นอกจากจะเป็นวิธีขนส่งสารแล้วยังเป็นการซ่อมแซมเยื่อหุ้มเซลล์ได้อีกด้วย
  - ตัวอย่างของการขนส่งสารแบบนี้ เช่น การหลั่งน้ำย่อย เอนไซม์ และฮอร์โมนต่างๆ



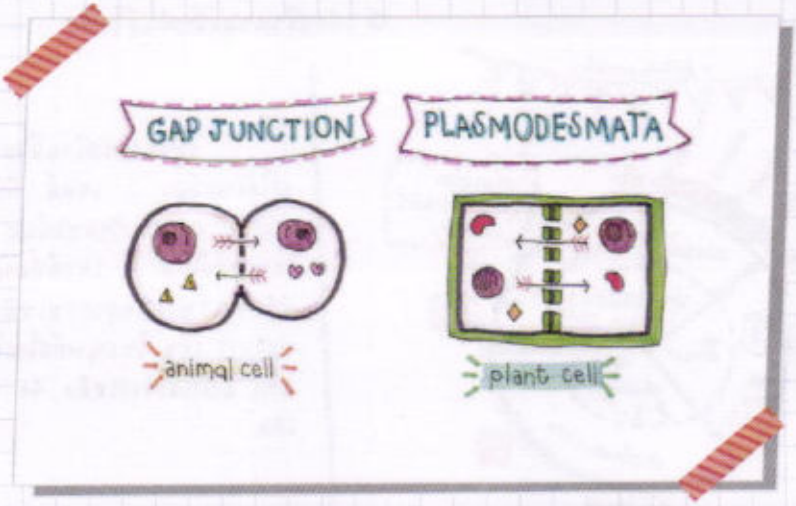
5. การสื่อสารระหว่างเซลล์

มี 3 ขั้นตอน ได้แก่

- การรับสัญญาณ (Reception)
  - เป็นการที่เซลล์เป้าหมายได้รับสัญญาณจากเซลล์ภายนอก
- การส่งสัญญาณ (Signal Transduction)
  - เมื่อได้รับสัญญาณก็จะเกิดการแปรผลสัญญาณที่ได้รับมา
- การตอบสนอง (Response)
  - เป็นการแสดงผลของเซลล์เป้าหมาย เพื่อตอบสนองต่อสัญญาณที่ได้รับ

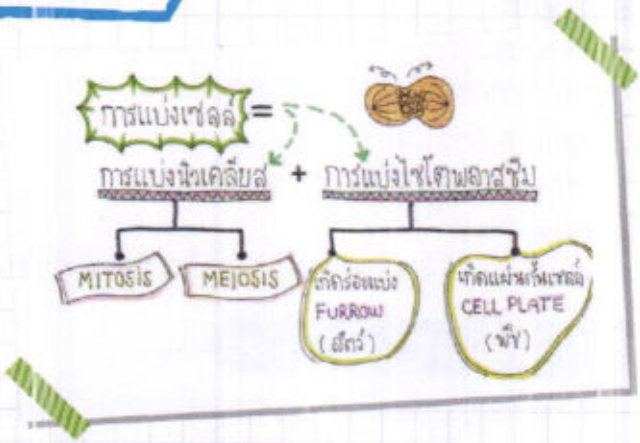
ตัวอย่างของเซลล์ที่มีการสื่อสารระหว่างกัน เช่น

- เซลล์ยีสต์ >> มีการส่งสัญญาณเพื่อจะได้รู้ว่าตัวที่จับคู่ผสมพันธุ์กันนั้นเป็นเพศตรงข้ามกัน
- เซลล์สัตว์ >> มีโปรตีนตรงเชื่อเซลล์ของทั้ง 2 เซลล์ ออกมาประกบกันเป็นช่องว่างเล็กๆ (Gap Junction)
- เซลล์พืช >> มีช่องพลาสโมเดสมาตา (Plasmodecmata) สำหรับเชื่อมต่อกันระหว่างทั้ง 2 เซลล์
- เซลล์ประสาทของสัตว์ >> มีสารสื่อประสาทสำหรับนำกระแสประสาทได้



บทที่ 8
การแบ่งเซลล์

การเพิ่มจำนวนและการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตจำเป็นต้องอาศัยขั้นตอนการแบ่งเซลล์ ขั้นตอนดังกล่าวแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ ดังนี้



1. การแบ่งนิวเคลียส (Karyokinesis) แบ่งออกเป็น

การแบ่งแบบไมโทซิส (Mitosis)

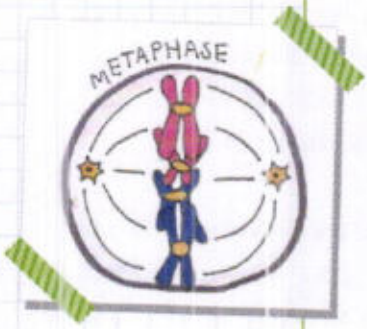
- เพื่อเพิ่มจำนวนของเซลล์
- เพื่อซ่อมแซมหรือเพื่อการเจริญเติบโต
- เพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ในพืช

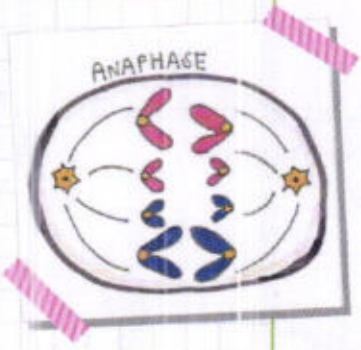
เมื่อแบ่งเสร็จแล้วผลผลิตที่ได้จะได้เซลล์ลูก 2 เซลล์ ที่มีโครโมโซมเท่ากัน และเท่ากับเซลล์แม่ 1 เซลล์ โดยเซลล์ใหม่ 2 เซลล์ที่แบ่งออกมาจะมีลักษณะทางพันธุกรรมเหมือนเดิมทุกประการ เช่น ในมนุษย์มีโครโมโซม 46 แท่ง แบ่งเสร็จจะเหลือ 46 แท่ง ตามเดิม

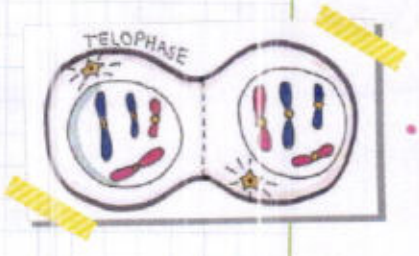
- เป็นช่วงระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ ขณะที่เซลล์มีการแบ่งตัว ประกอบด้วย 2 ระยะหลักๆ ได้แก่ การเตรียมพร้อมที่จะแบ่งตัว และกระบวนการแบ่งเซลล์
  1) **ระยะอินเตอร์เฟส (Interphase)** เป็นระยะในวัฏจักรของเซลล์ เพื่อเตรียมความพร้อมที่จะแบ่งเซลล์ แบ่งเป็น 3 ระยะย่อย ได้แก่
     >> ระยะจี 1 (G1 phase) เป็นระยะก่อนการสร้างดีเอ็นเอ
     >> ระยะเอส (S) เป็นระยะสร้างดีเอ็นเอ (DNA replication)
     >> ระยะจี 2 (G2 phase) เป็นระยะหลังสร้างดีเอ็นเอ
  2) **ระยะไมโทซิส (Mitosis phase หรือ M-phase)** เป็นระยะที่มีการแบ่งนิวเคลียสและไซโตพลาสซึม มีการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมหลายขั้นตอนก่อนจะถูกแบ่ง แบ่งเป็น 4 ระยะย่อย ได้แก่ โพรเฟส เมทาเฟส แอนาเฟส และเทโลเฟส
- เซลล์บางชนิดมีการแบ่งตัวตลอด หรืออยู่ในวัฏจักรของเซลล์ตลอดเวลา เช่น เซลล์ไขกระดูก เซลล์เนื้อเยื่อเจริญของพืช
- เซลล์บางชนิดจะไม่แบ่งตัวอีกถ้าแบ่งเซลล์ไปแล้ว หรือไม่เข้าสู่วัฏจักรของเซลล์อีก แต่จะเข้าสู่ระยะจี 0 (G0 phase) กระทั่งเซลล์ชรา (Cell Aging) และตายไป (Cell Death)
- เซลล์บางชนิดจะอยู่ในระยะจี 0 (G0 phase) สักพักหนึ่ง หรือเข้าสู่ระยะพักตัว ถ้ากลับเข้าสู่วัฏจักรของเซลล์อีกก็จะทำให้เกิดการแบ่งตัวต่อไป

ขั้นตอนการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิส

1) **ระยะอินเตอร์เฟส (Interphase)** แบ่งเป็น
   - ระยะจี 1 (G1 phase) เป็นระยะปกติของเซลล์ และเป็นระยะที่ใช้เวลานานที่สุด มีการจำลองเซนทริโอล (Centriole) เพื่อเตรียมพร้อมที่จะแบ่งเซลล์
   - ระยะเอส (S phase) มีการจำลองดีเอ็นเอเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า มีจำนวนชุดโครโมโซมเท่าเดิมแต่มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดย 1 โครโมโซมจะมี 2 โครมาทิดอยู่ติดกันที่เซนโทรเมียร์ (Centromere)
   - ระยะจี 2 (G2 phase) เป็นระยะที่มีการตรวจสอบสารต่างๆ ที่จำลองขึ้นมาว่าครบถ้วนหรือไม่ ถ้าครบก็จะไปแบ่งนิวเคลียสต่อที่ระยะไมโทซิส แต่ถ้าไม่ครบหรือมีอะไรผิดพลาดก็จะกลับสู่ระยะจี 0 หรือระยะพัก เพื่อเตรียมเข้าสู่ระยะจี 1 อีกครั้ง







2) ระยะไมโทซิส หรือระยะเอ็ม (Mitosis phase หรือ M Phase) แบ่งเป็น

- ระยะโพรเฟส (Prophase) นิวคลีโอลัส (Nucleolus) สลายตัวไป ส่วนเยื่อหุ้มนิวเคลียส (Nuclear Membrane) จะเริ่มสลายตัว เซนทริโอลหรือเซนโทรโซมเคลื่อนไปที่ขั้วเซลล์และเริ่มสร้างเส้นใยสปินเดิล
  >> ร่างแหโครมาทินหดตัวกลายเป็นโครโมโซมที่มีซิสเตอร์โครมาทิด (Sister Chromatid) จำนวน 2 แท่ง

ซิสเตอร์โครมาทิด (Sister Chromatid) เป็นโครมาทิดที่อยู่ในโครโมโซมเดียวกัน ระยะโพรเฟสเป็นระยะย่อยที่ใช้เวลามากที่สุดในระยะไมโทซิส

- ระยะเมทาเฟส (Metaphase) เยื่อหุ้มนิวเคลียสและนิวคลีโอลัสทั้งหมดสลายตัวไป โครโมโซมหดตัวอย่างสมบูรณ์และมีการจัดเรียงตัวกัน เส้นใยสปินเดิลจับกับที่กลางโครโมโซมที่บริเวณโปรตีนไคนีโทคอร์ (Kinetochore) การจัดเรียงตัวแบบนี้ เรียกว่า 'เมทาเฟสเพลต (Metaphase Plate)' จากนั้นเซนโทรเมียร์ของแต่ละโครโมโซมจะเริ่มแบ่งตัว ระยะนี้เป็นระยะที่เหมาะจะสังเกตความผิดปกติของโครโมโซม หรือแคริโอไทป์ (Karyotype) เพราะเป็นระยะที่เห็นโครโมโซมชัดเจนที่สุด
- ระยะแอนาเฟส (Anaphase) เส้นใยสปินเดิลดึงซิสเตอร์โครมาทิดออกจากกันไปยังขั้วแต่ละด้านของเซลล์ แต่ละซิสเตอร์โครมาทิดจะกลายเป็นโครโมโซมใหม่ของเซลล์ใหม่ แต่เซลล์ยังไม่ได้แยกออกจากกัน สรุปว่าระยะนี้เป็นระยะที่มีจำนวนโครโมโซมเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ระยะแอนาเฟสเป็นระยะที่ใช้เวลาน้อยสุด
- ระยะเทโลเฟส (Telophase) เส้นใยสปินเดิลสลายตัว มีการสร้างนิวคลีโอลัสและเยื่อหุ้มนิวเคลียสขึ้นมาใหม่ โครโมโซมที่แบ่งมา คลายตัวจนกลายเป็นร่างแหโครมาทิน

การแบ่งแบบไมโอซิส (Meiosis)

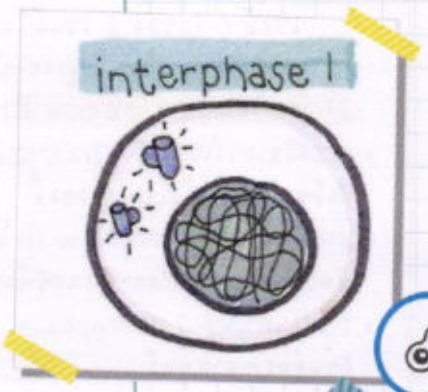
- เพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของสัตว์
- เพื่อสร้างสปอร์ของพืช

เมื่อแบ่งเสร็จ จำนวนโครโมโซมจะลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง และจะได้เซลล์ลูก 4 เซลล์ ต่อเซลล์แม่ 1 เซลล์ เช่น เริ่มแรกมนุษย์มีโครโมโซมสองชุดที่เหมือนกันจำนวน 46 แท่ง (2n = 46) แต่เมื่อแบ่งเสร็จแล้วจะมีโครโมโซมเหลือ 23 แท่ง (n = 23) โดย n แทนจำนวนชุดโครโมโซมที่เหมือนกัน และตัวเลขแทนจำนวนโครโมโซมที่มีอยู่ทั้งหมด

- ขั้นตอนการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิส มี 2 ขั้นตอน ได้แก่

1) ระยะไมโอซิส 1 (Meiosis I) ประกอบด้วยการแบ่งนิวเคลียส 4 ระยะ และการแบ่งไซโตพลาสซึม 1 ระยะ ดังนี้

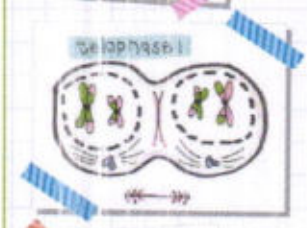
- ระยะอินเตอร์เฟส 1 (Interphase I) มีการจำลองดีเอ็นเอและโครโมโซมเหมือนการแบ่งแบบไมโทซิสทุกอย่าง
- ระยะโพรเฟส 1 (Prophase I) คล้ายกับไมโทซิส ต่างกันตรงที่โฮโมโลกัส โครโมโซม (Homologous Chromosome) หรือโครโมโซมที่เหมือนกันมาเข้าคู่กัน เรียกว่า 'ไซแนปซิส (Synapsis)' ทำให้มีลักษณะเหมือนปาท่องโก๋ 2 ตัววางเรียงกันอยู่ เรียกว่า 'ไบเวเลนต์ (Bivalent)' และโครมาทิดเรียงกัน 4 แท่ง เรียกว่า 'เทเทรด (Tetrad)' ระยะนี้จะเกิดการไขว้กันระหว่างโครมาทิดที่อยู่คนละโครโมโซม ที่เรียกว่า 'นอนซิสเตอร์โครมาทิด (Non-Sister Chromatid)' เพื่อแลกเปลี่ยนสารพันธุกรรมซึ่งทำให้ลักษณะของสิ่งมีชีวิตเกิดความแปรผัน การไขว้ทับกันแบบนี้เรียกว่า 'การครอสซิงโอเวอร์ (Crossing Over)' และบริเวณที่มีการไขว้กันเรียกว่า 'ไคแอสมา (Chiasma)' 1 เป็นระยะที่ใช้เวลานานที่สุดและสำคัญต่อการเกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตมากที่สุด

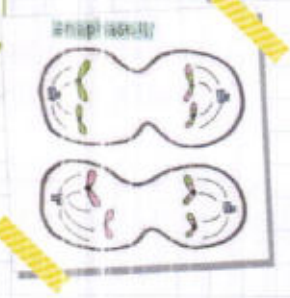


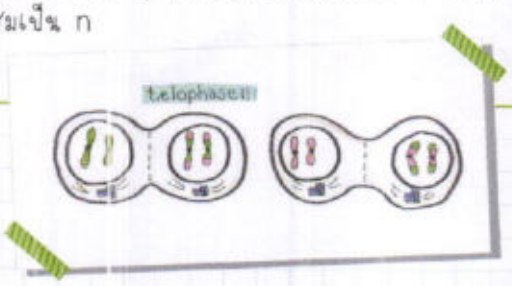
- ระยะเมทาเฟส 1 (Metaphase I) เส้นใยสปินเดิลจับโฮโมโลกัสโครโมโซมมาเรียงไว้กลางเซลล์ตามแนวเมทาเฟสเพลต (Metaphase Plate)
- ระยะแอนาเฟส 1 (Anaphase I) เส้นใยสปินเดิลจะดึงโฮโมโลกัสโครโมโซมออกจากกัน แต่โครมาทิดยังติดกันอยู่เหมือนเดิม ต่างจากไมโทซิสตรงที่ระยะนี้โครโมโซมไม่ได้เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า เพราะไม่มีการดึงซิสเตอร์โครมาทิดออก สรุปจำนวนชุดของโครโมโซมในระยะนี้ยังเป็น 2n เหมือนเดิม
- ระยะเทโลเฟส 1 (Telophase I) โครโมโซมจะเคลื่อนที่ย้ายไปยังขั้วแต่ละด้านของเซลล์
  >> ในระยะนี้บางเซลล์จะมีการสร้างเยื่อหุ้มนิวเคลียสมาล้อมโครโมโซมและแบ่งไซโตพลาสซึมเป็น 2 เซลล์ เกิดเป็นเซลล์ n จำนวน 2 เซลล์ ในบางเซลล์ไม่มีการแบ่งไซโตพลาสซึมแต่จะข้ามเข้าสู่ระยะต่อไป

2) ระยะไมโอซิส 2 (Meiosis II) แบ่งเป็น

- ระยะอินเตอร์เฟส 2 (Interphase II) ไม่เกิดการจำลองดีเอ็นเอหรือโครโมโซมในระยะนี้
- ระยะโพรเฟส 2 (Prophase II) โครโมโซมมีโครมาทิด 2 แท่งหลดสั้นลง และไม่เกิดการครอสซิงโอเวอร์ใดๆ
- ระยะเมทาเฟส 2 (Metaphase II) ทุกโครโมโซมจะมาเรียงกันอยู่ตรงกลางเซลล์
- ระยะแอนาเฟส 2 (Anaphase II) โครมาทิดจะถูกดึงออกจากกัน ทำให้จำนวนชุดของโครโมโซมเพิ่มขึ้น สรุปจำนวนชุดของโครโมโซมในระยะนี้ คือ 2n
- ระยะเทโลเฟส 2 (Telophase II) โครมาทิดอยู่จะคนละด้านของเซลล์ เส้นใยสปินเดิลสลายไป มีการสร้างนิวคลีโอลัสและเยื่อหุ้มนิวเคลียสขึ้นมาใหม่ เกิดการแบ่งไซโตพลาสซึม (ซึ่งจะพูดถึงต่อไป) ได้เซลล์ใหม่ 4 เซลล์ ที่มีโครโมโซมเป็น n

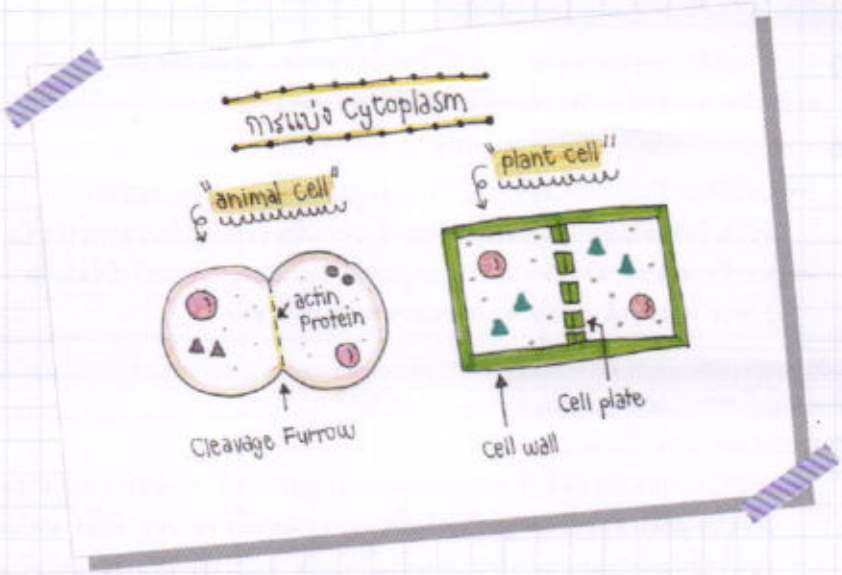






2. การแบ่งไซโตพลาสซึม (Cytokinesis)

- การแบ่งไซโตพลาสซึมในเซลล์สัตว์หรือเซลล์คล้ายสัตว์
  - ใช้เส้นใยโปรตีนแอกตีน (Actin) รัดกลางเซลล์ให้ขาดออก เรียกว่า 'คลีเวจ เฟอร์โรว (Cleavage Furrow)'
- การแบ่งไซโตพลาสซึมในเซลล์พืชหรือเซลล์คล้ายพืช กอลจิคอมเพล็กซ์จะสร้าง เซลล์เพลต (Plate Cell) มากั้นตรงกลาง เมื่อแบ่งเสร็จเซลล์เพลตจะกลายเป็นผนัง เซลล์ใหม่ (Cell Wall) เชื่อมกับผนังเซลล์เดิม



บทที่ 9
ระบบย่อยอาหาร

1. ภาพรวม

เป็นการแปลงสภาพอาหารที่อยู่ในรูปโมเลกุลขนาดใหญ่ให้เปลี่ยนเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น แป้ง ไขมัน และโปรตีน เนื่องจากไม่สามารถนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ได้ถ้ายังอยู่ในรูปสารที่มีขนาดใหญ่ แต่น้ำ เกลือแร่ และวิตามิน สามารถดูดซึมไปใช้ได้เลย

ระบบทางเดินอาหารของสิ่งมีชีวิต → แบ่งออกเป็น

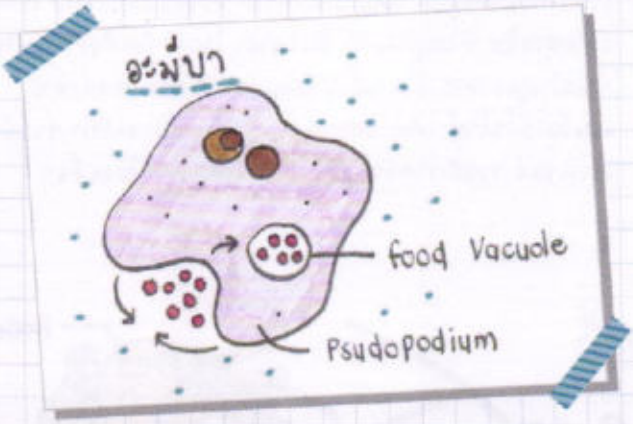
- **พวกที่ไม่มีระบบทางเดินอาหาร** สิ่งมีชีวิตที่ไม่มีระบบทางเดินอาหารจะมีกระบวนการหรืออวัยวะพิเศษอย่างอื่นทำหน้าที่นี้แทน
- **พวกที่มีระบบทางเดินอาหาร** แบ่งเป็น
  - พวกที่ทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์ (Incomplete Digestive Tract) มีช่องเปิดทางเดียว และช่องสำหรับอาหารเข้าเป็นช่องเดียวกับช่องทวารหนัก
  - พวกที่ทางเดินอาหารสมบูรณ์ (Complete Digestive Tract) มีช่องเปิด 2 ทาง โดยช่องสำหรับอาหารเข้าแยกจากช่องทวารหนัก

วิธีการย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต → แบ่งออกเป็น

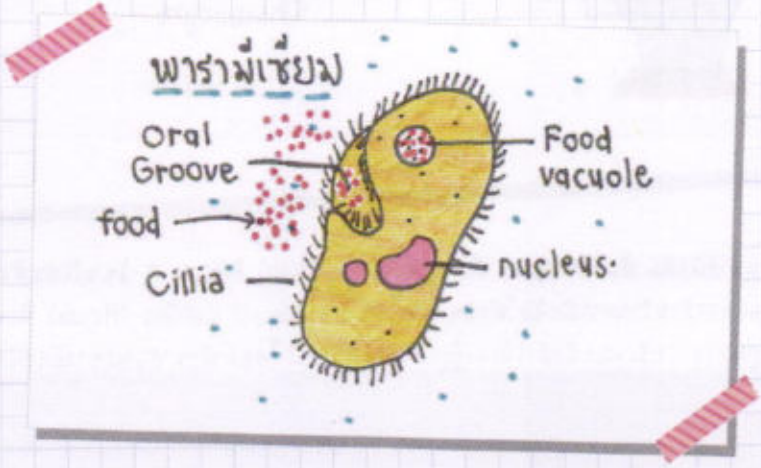
- **แบ่งตามตำแหน่งที่เกิดการย่อย**
  - การย่อยภายนอกเซลล์ (Extracellular Digestion) - เป็นการย่อยสารอาหารให้มีขนาดเล็กลง รวมทั้งการดูดซึมก็เกิดขึ้นภายนอกเซลล์ด้วย เช่น ฟังไจ จะปล่อยเอนไซม์ออกไปย่อยอาหารข้างนอกเซลล์ให้เสร็จ แล้วจึงดูดซึมสารอาหารเข้าสู่เซลล์
  - การย่อยภายในเซลล์ (Intracellular Digestion) - สารอาหารที่ได้รับจะถูกดูดซึมและย่อยภายในเซลล์ โดยใช้เอนไซม์จากไลโซโซม (Lysosome) และถุงอาหาร (Food Vacuole) ในการย่อย
- **แบ่งตามวิธีการย่อย**
  - การย่อยเชิงกล (Mechanical Digestion) - เป็นการย่อยสารอาหารขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง แต่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี การย่อยเชิงกลที่ใช้ส่วนใหญ่คือ การใช้ฟัน
  - การย่อยเชิงเคมี (Chemical Digestion) - เป็นการใช้เอนไซม์ (Enzyme) ในการช่วยย่อยอาหาร เพื่อทำให้อาหารมีขนาดเล็กมากพอสำหรับการดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้

2. ระบบย่อยอาหารของจุลินทรีย์

- **รา** มีผนังเซลล์ (Cell Wall) ทำให้อาหารที่มีขนาดใหญ่เข้าไปไม่ได้ ต้องปล่อยเอนไซม์ออกไปย่อยข้างนอกก่อน แล้วจึงดูดซึมสารอาหารที่ถูกย่อยแล้วเข้ามา ถือเป็นการย่อยภายนอกเซลล์
- **อะมีบา** มีเท้าเทียม หรือ ซูโดโพเดียม (Pseudopodium) สำหรับล้อมจับอาหาร เกิดเป็นถุงอาหาร (Food Vacuole) แล้วใช้เอนไซม์ในการย่อย เป็นการย่อยอาหารแบบฟาโกไซโทซิส (Phagocytosis) ถือเป็นการย่อยภายในเซลล์ เท้าเทียมนี้ยังใช้ในการเคลื่อนที่ด้วย



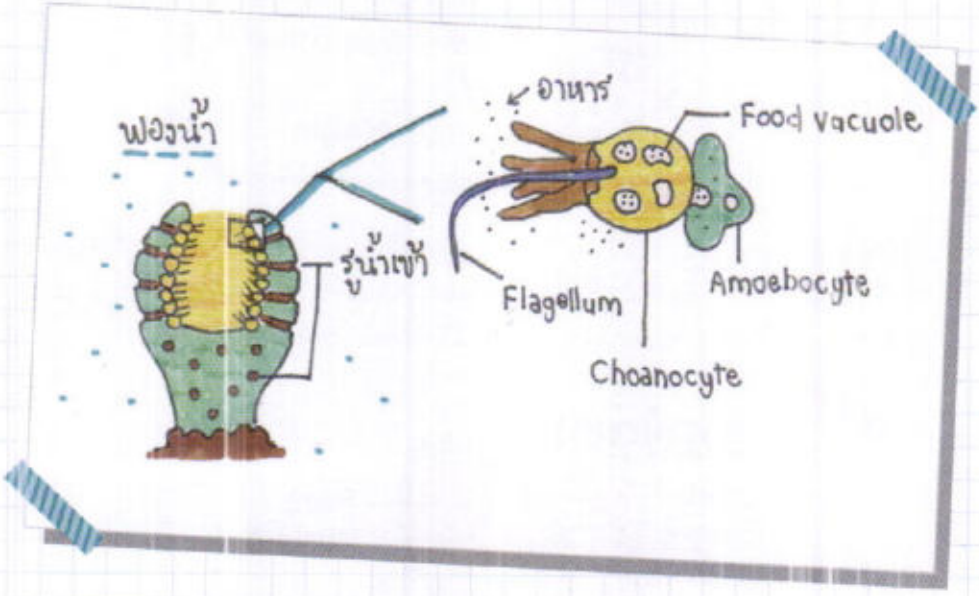
- **พารามีเซียม** มีขนเซลล์ หรือซีเลีย (Cilia) อยู่ตรงร่องปาก (Oral Groove) ไว้พัดอาหารเข้าสู่เซลล์ จากนั้นจะนำเข้าถุงอาหาร แล้วเอนไซม์จากไลโซโซมจะย่อยทั้งอาหารและถุงอาหาร ถือเป็นการย่อยภายในเซลล์ ซีเลียนี้ยังใช้ในการเคลื่อนที่ด้วย



- ยูกลีนา มีโครมาโตฟอร์ (Chromatophore) สำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง จึงสร้างอาหารด้วยตัวเองได้ หรือให้อาหารเข้าสู่เซลล์ โดยผ่านช่องอาหาร (Gullet) ที่อยู่บริเวณแฟลกเจลลัม (Flagellum) หรือดูดอาหารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กอยู่แล้วเข้าสู่เซลล์โดยตรง

3. ระบบย่อยอาหารของสัตว์

- สัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง แบ่งเป็น
  - สัตว์ที่ไม่มีทางเดินอาหาร เช่น
    - ฟองน้ำ มีเซลล์พิเศษ 2 ชนิดในการกินและการย่อย คือ
      - >> เซลล์โคแอนโนไซต์ (Choanocyte) หรือคอลลาร์เซลล์ (Collar Cell) ที่มีแฟลกเจลลัม (Flagellum) ยื่นออกมา โบกสะบัดเพื่อจับอาหารอยู่ตลอด และมีการสร้างถุงอาหาร (Food Vacuole) สำหรับย่อยอาหาร
      - >> เซลล์อะมีโบไซต์ (Amoebocyte) รูปร่างคล้ายอะมีบา ช่วยนำสารอาหารขนาดเล็กเข้าสู่เซลล์ รวมถึงช่วยย่อยอาหาร และส่งต่อไปให้ส่วนอื่นๆ



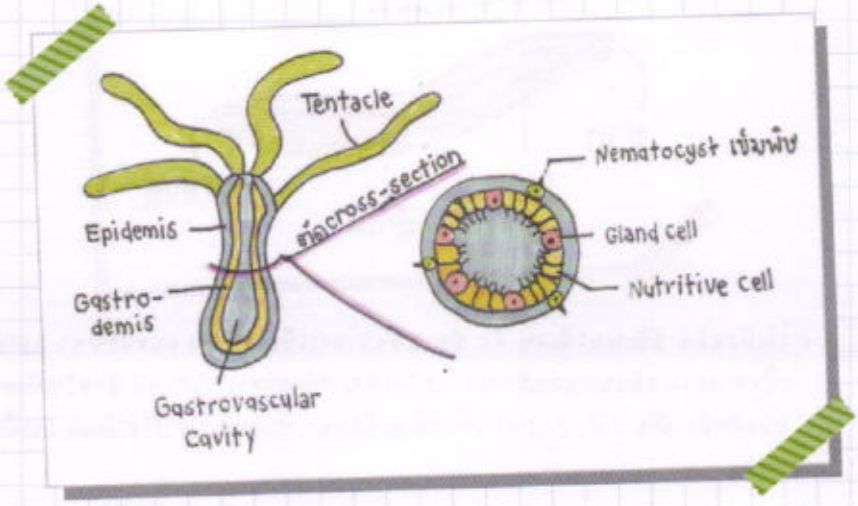
- พยาธิตัวตืด มีอวัยวะพิเศษ คือ แว่นดูด (Sucker) จำนวน 4 อันบริเวณหัว เป็นอวัยวะสำหรับเกาะติดสัตว์ตัวอื่นที่มันไปอาศัย (Host) และมีขอ (Hook) ทำหน้าที่ดูดอาหารบริเวณผนังลำไส้ของผู้ถูกอาศัย (Host) โดยอาศัยการแพร่ทางผิวหนัง

— สัตว์ที่มีทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์ เช่น

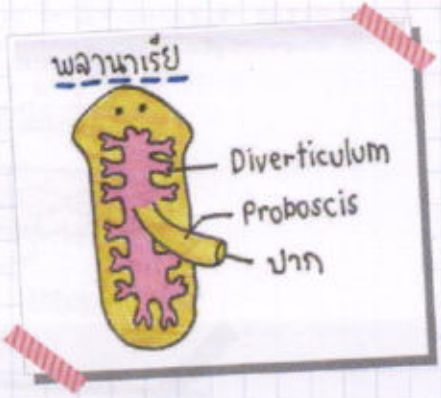
- ไฮดรา มีอวัยวะพิเศษ คือ หนวดจับ (Tentacle) มีลักษณะคล้ายหนวดอยู่รอบปาก ซึ่งมีเข็มพิษ หรือ เนมาโทซิสต์ (Nematocyst) ใช้ในการจับเหยื่อ ไฮดรามีช่องแกสโตรวาสคิวลาร์ (Gastrovascular Cavity) เป็นท่อกลวงที่มีเซลล์ช่วยในการย่อยอาหาร คือ

  เซลล์ย่อยอาหาร (Nutritive Cell) >> มีแฟลกเจลลัม (Flagellum) ในการจับอาหาร
  >> เซลล์นี้มีการสร้างถุงอาหาร (Food Vacuole) สำหรับย่อยอาหาร
  >> ถือเป็นการย่อยภายในเซลล์

  เซลล์ต่อม (Gland Cell) >> มีขนาดเล็กกว่าเซลล์ย่อยอาหาร
  >> ทำหน้าที่สร้างน้ำย่อยส่งไปที่ช่องแกสโตรวาสคิวลาร์ (Gastrovascular Cavity)
  >> ถือเป็นการย่อยภายนอกเซลล์



- พลานาเรีย มีการย่อยอาหารทั้งภายนอกเซลล์และภายในเซลล์ มีอวัยวะพิเศษ คือ ไดเวอร์ติคูลัม (Diverticulum) เป็นส่วนของทางเดินอาหารที่แตกแขนงย่อยไปทีละ 2 ด้าน และโพรบอซิส (Proboscis) เป็นรวงยืดขยายได้ออกมาจากคอหอย สำหรับดักจับอาหาร เช่น ไรน้ำ และตัวอ่อนของแมลง

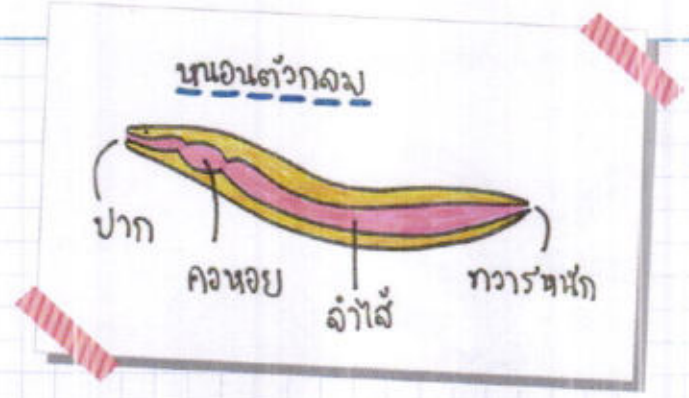


- **พยาธิใบไม้** มีอวัยวะพิเศษ คือ ปากดูด (Oral Sucker) มีปากเป็นปุ่มสำหรับดูดสารอาหารจากผู้ถูกอาศัย อยู่ติดกับคอหอย และมีไดเวอร์ติคูลัม (Diverticulum) คล้ายพลานาเรีย แต่เป็นลำไส้ที่แตกแขนงออกทีละ 2 ข้าง

— **สัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์ เช่น**

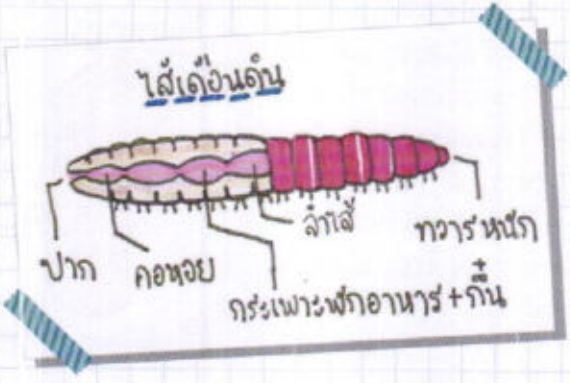
- **หนอนตัวกลม** เป็นสัตว์จำพวกแรกที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์ มีลักษณะพิเศษ คือ ทางเดินอาหารเป็นท่อกลวง หรือมีช่องเปิด 2 ทาง (Two Hole Tube) คอหอยมีลักษณะหนาเพื่อช่วยในการดูดกลืนอาหาร ลำไส้เป็นทางยาวเหยียดไปจนถึงด้านท้ายที่เป็นทวารหนัก

✶ ปาก → คอหอย → ลำไส้ → ทวารหนัก ✶



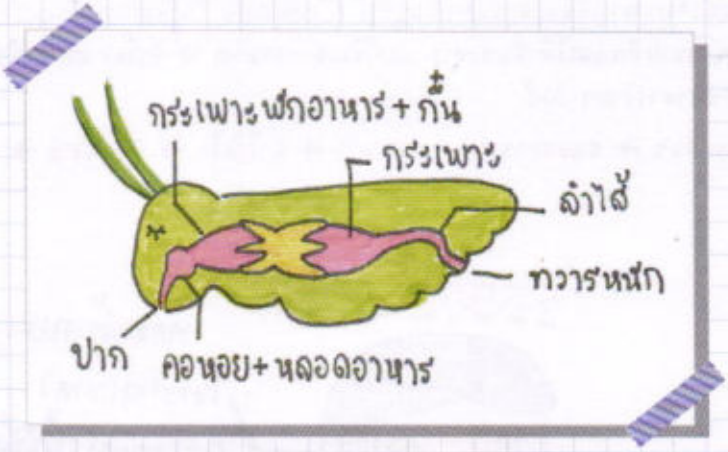
- **ไส้เดือนดิน** มีลักษณะพิเศษ คือ มีทางเดินอาหารเปิด 2 ทาง คอหอยหนา และลำไส้เป็นทางยาวเหมือนหนอนตัวกลม แต่มีกระเพาะพักอาหาร (Crop) สำหรับพักอาหารไว้ย่อยที่หลัง รักิน (Gizzard) เป็นกล้ามเนื้อหนา ช่วยบดอาหารให้เล็กลง ถือเป็นการย่อยเชิงกล

✶ ปาก → คอหอย → หลอดอาหาร → กระเพาะพักอาหาร → กึ๋น → ลำไส้ → ทวารหนัก ✶



- แมลง มีลักษณะพิเศษ คือ มีทางเดินอาหาร คอหอยหนา มีกระเพาะพักอาหาร และมีกึ้น เหมือนกับไส้เดือนดิน แต่ปากจะมีลักษณะแตกต่างตามการใช้งาน มีต่อมสร้างน้ำย่อย กระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก ลำไส้ใหญ่ และมีไส้ตรง

  ✶ ปาก → คอหอย → หลอดอาหาร → กระเพาะพักอาหาร → กึ้น → กระเพาะ → ลำไส้เล็ก → ลำไส้ใหญ่ → ไส้ตรง → ทวารหนัก ✶



สัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง

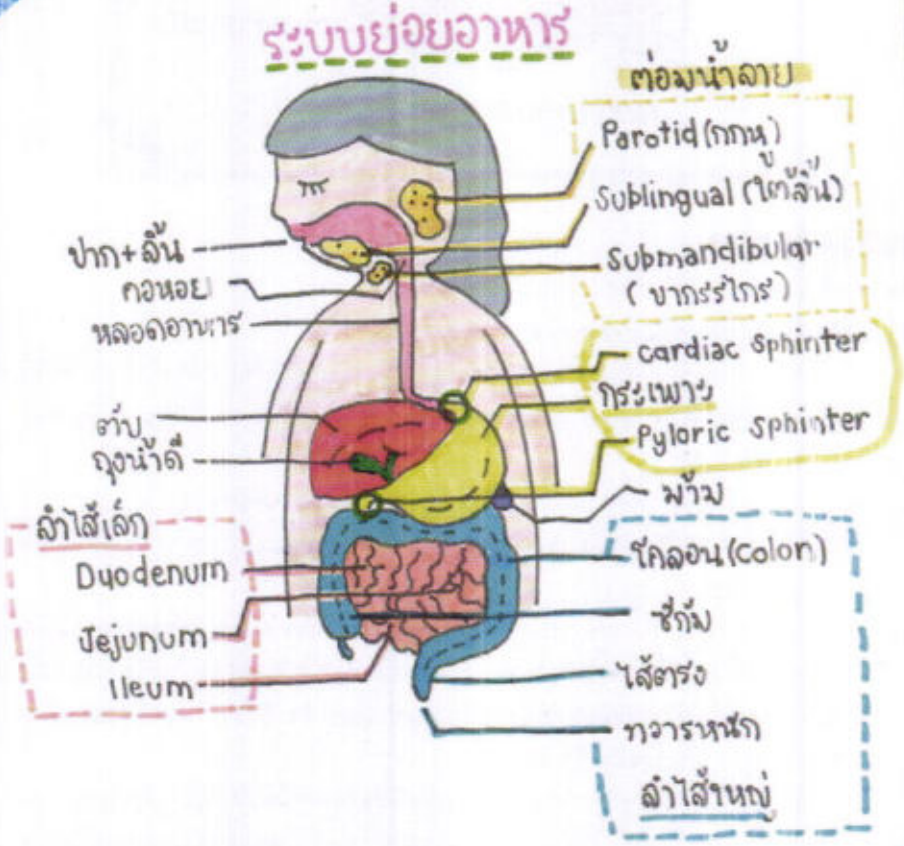
- สัตว์กินพืช เช่น วัว ควาย มีลักษณะพิเศษ คือ
  - มีกระเพาะอาหารที่แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่
    - >> กระเพาะผ้าขี้ริ้ว (Rumen) มีขนาดใหญ่ที่สุด มีแบคทีเรียและโพรโทซัวสำหรับย่อยเซลลูโลสให้เป็นกลูโคส รวมถึงช่วยสังเคราะห์กรดอะมิโน กรดไขมัน ยูเรีย และวิตามินบี 12
    - >> กระเพาะรังผึ้ง (Reticulum) ทำหน้าที่ช่วยผสมและบดอาหาร
    - >> กระเพาะสามสิบกลีบ (Omasum) ทำหน้าที่ช่วยผสมและบดอาหาร รวมถึงช่วยดูดซึมน้ำ
    - >> กระเพาะจริง (Abomasum) ทำหน้าที่ช่วยย่อยอาหารและส่งต่อไปยังลำไส้เล็กเป็นกระเพาะแท้จริงเพราะมีการสร้างน้ำย่อยเอง โดย 3 กระเพาะแรกถือเป็นกระเพาะเทียม
  - ไส้ติ่งมีขนาดใหญ่ จะมีจุลินทรีย์สำหรับย่อยเซลลูโลสเช่นเดียวกัน และมีส่วนร่วมในระบบย่อยอาหารของสัตว์กินพืช
  - มีการเคี้ยวเอื้อง (Ruminating) เป็นการกินพืชหรือหญ้าให้มากที่สุด แล้วค่อยสำรอกออกมาเคี้ยวอีกครั้งหนึ่ง โดยอาหารที่กินจะถูกนำไปหมักให้นุ่มเป็นเวลาหลายชั่วโมงในกระเพาะผ้าขี้ริ้ว (Rumen) จากนั้นจึงค่อยๆ นำอาหารที่หมักแล้วออกมาเคี้ยวอีกทีหลัง

4. ระบบย่อยอาหารของมนุษย์

ภาพรวม

- มนุษย์มีระบบทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์ (Complete Digestive Tract) การย่อยเริ่มต้นตั้งแต่เห็นและได้กลิ่นอาหาร และใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมง เขียนเป็นแผนผังทางเดินอาหารง่ายๆ ดังนี้

✶ ปาก → คอหอย → หลอดอาหาร → กระเพาะ → ลำไส้เล็ก → ลำไส้ใหญ่ → ทวารหนัก ✶



วิธีการย่อยอาหารของมนุษย์

มี 2 แบบ ดังนี้

- การย่อยเชิงกล (Mechanical Digestion) เป็นการบดอาหารให้ละเอียด หรือทำให้มีขนาดเล็กลง ทำได้โดยใช้ฟันในการบดเคี้ยว ใช้การเคลื่อนที่เป็นจังหวะของกล้ามเนื้อหลอดอาหาร กระเพาะอาหาร และลำไส้ เรียกว่า 'เพอริสตัลซิส (Peristalsis)' เป็นการหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อเป็นช่วงๆ เพื่อบีบไล่อาหารไปยังส่วนต่อไป และใช้การหลั่งน้ำดีเพื่อทำให้ไขมันแตกตัวเป็นเม็ดเล็ก แต่อาหารที่ผ่านการย่อยเชิงกลยังมีขนาดเล็กไม่พอที่จะนำไปใช้ได้ ต้องใช้การย่อยเชิงเคมีเพิ่มเติม
- การย่อยเชิงเคมี (Chemical Digestion) เป็นการย่อยอาหารจนมีขนาดเล็กที่สุดเพื่อดูดซึมเข้าสู่เซลล์ โดยใช้ปฏิกิริยาเคมี จุดเด่น คือ มีการเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้นด้วยการใช้เอนไซม์หรือน้ำย่อยมาช่วย เอนไซม์ (Enzyme) เป็นสารประเภทโปรตีน ทำงานในสภาวะที่เหมาะสม มีหน้าที่เฉพาะเจาะจง เขียนเป็นแผนผังวิธีการย่อยอาหารง่ายๆ ดังนี้

* อาหารที่กินเข้าไป → การย่อยเชิงกล → อาหารถูกย่อยเล็กลง เพิ่มพื้นที่ผิว → การย่อยเชิงเคมี → ย่อยได้ → ดูดซึมเข้าเซลล์ → ย่อยไม่ได้ → ถูกกำจัด *

อวัยวะในระบบย่อยอาหาร

ที่เป็นทางเดินของอาหาร

- ปาก (Mouth) ภายในประกอบไปด้วย
  - ฟัน (Teeth) ใช้สำหรับบดเคี้ยวอาหารให้เล็กลง
    - >> มี 2 ชุด คือ
      - → ฟันน้ำนม (Temporary Teeth) มี 20 ซี่
      - → ฟันแท้ (Permanent Teeth) มี 32 ซี่
    - >> ฟันแบ่งเป็น 4 ชนิด ซึ่งจะแบ่งเป็นด้านบนและด้านล่างอย่างละครึ่ง ได้แก่
      - → ฟันตัด (Incisor) มี 4 ซี่
      - → ฟันกัดหรือฟันเขี้ยว (Canine) มี 2 ซี่
      - → ฟันบด (Premolar) มี 4 ซี่
      - → ฟันกราม (Molar) มี 6 ซี่
  - น้ำลาย (Saliva) ช่วยหล่อลื่น และทำความสะอาดช่องปาก ผลิตออกมาวันละประมาณ 1 – 1.5 ลิตร
    - >> ต่อมน้ำลายสำหรับหลั่งน้ำลาย มี 3 คู่ คือ
      - → ต่อมน้ำลายใต้ลิ้น (Sublingual Gland)
      - → ต่อมน้ำลายใต้ขากรรไกร (Submandibular Gland)
      - → ต่อมน้ำลายข้างกหู (Parotid Gland)
    - >> ในน้ำลายประกอบด้วยน้ำ เมือก และเอนไซม์อะไมเลส (Amylase) สำหรับย่อยแป้ง ทำให้มีการย่อยคาร์โบไฮเดรตครั้งแรกในปาก โดยน้ำลายจะมีค่า pH ประมาณ 6.2 – 7.4 เพราะเอนไซม์อะไมเลสทำงานได้ดีในสภาวะที่เป็นเบส

- ลิ้น (Tongue) ทำหน้าที่รับรส ช่วยกวาด คลุกเคล้าอาหาร และกลืนอาหาร เพื่อส่งต่อไปยังทางเดินอาหารส่วนต่อไป ก้อนอาหารจากอาหารที่เคี้ยวแล้ว และผ่านการย่อยด้วยน้ำลาย เรียกว่า โบลัส (Bolus)

✶ กลไกการกลืน ✶

เมื่อกลืนก้อนอาหาร หรือโบลัสลงไป ก้อนอาหารจะไปดันเพดานอ่อนกับลิ้นไก่ให้ไปปิดหลอดลม จากนั้นกล่องเสียงจะยกตัวขึ้น ฝากล่องเสียงจึงปิด เพื่อที่อาหารจะได้ไม่ตกลงสู่หลอดลม เสร็จแล้วก้อนอาหารก็จะเดินทางผ่านคอหอย แล้วลงสู่หลอดอาหารต่อไป

- คอหอย (Pharynx) เป็นเพียงทางผ่านของอาหาร ไม่มีการย่อยเกิดขึ้น
- หลอดอาหาร (Esophagus) มีการย่อยเชิงกลแบบเพอริสตัลซิสเกิดขึ้น
- กระเพาะ (Stomach) เชื่อมต่อมาจากหลอดอาหาร อยู่ข้างบนด้านซ้ายของช่องท้อง ยาวประมาณ 10 นิ้ว กว้างประมาณ 5 นิ้ว
  - เกิดการย่อยทั้ง 2 วิธี ที่กระเพาะ คือ
    - >> การย่อยเชิงกล มีการบีบตัวแบบเพอริสตัลซิสเช่นเดียวกัน
    - >> การย่อยเชิงเคมี ผนังชั้นในสุดมีการผลิตเอนไซม์เปปซิน (Pepsin) และกรดไฮโดรคลอริกปริมาณเล็กน้อยอยู่ตลอดเวลา แต่จะถูกผลิตออกมามากขึ้นเมื่อมีอาหารลงมาในกระเพาะ
      - → เอนไซม์เปปซินย่อยโปรตีนให้มีขนาดเล็กลงแต่ยังไม่เล็กพอจึงต้องไปย่อยต่อที่ลำไส้เล็ก
      - → นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์เรนนิน (Rennin) สำหรับย่อยโปรตีนในน้ำนม และแกสทริกไลเปส (Gastric Lipase) ย่อยไขมันให้เป็นกรดไขมันและกลีเซอรีน แต่ย่อยได้ไม่ดี เพราะมีปริมาณน้อย และสภาวะการย่อยไม่เหมาะสม
      - → ปกติแล้วเอนไซม์สำหรับย่อยโปรตีนในกระเพาะจะอยู่ในรูปโปรเอนไซม์ (Proenzyme) เป็นภาวะเตรียมพร้อม แต่จะทำงานเมื่อมีกรดไฮโดรคลอริกมากระตุ้นเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำย่อยไปย่อยเนื้อเยื่อแทนอาหาร โดยเปปซิน (Pepsin) จะอยู่ในรูปเปปซิโนเจน (Pepsinogen) และเรนนิน (Rennin) จะอยู่ในรูปโปรเรนนิน (Prorennin) ก่อน
      - → โดยของเหลวทั้งน้ำ กรด และเอนไซม์ ที่สร้างขึ้นในกระเพาะนี้จะเรียกว่า แกสทริกจูส (Gastric Juice)

✶ ทำให้ในกระเพาะอาหารมีการย่อยเฉพาะโปรตีนเท่านั้น ✶

- อาหารที่ถูกย่อยและมีความเป็นกรดที่อยู่ในกระเพาะจะถูกเรียกว่าไคม์ (Chyme)
- กระเพาะขยายได้ตั้งแต่ 10 – 40 เท่า หรือรับอาหารได้มากถึง 1,000 – 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผนังของกระเพาะซ้อนทับกันไปมา มีลักษณะย่นเป็นคลื่นเรียกว่า รูกี (Rugae) เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว กระเพาะมีกล้ามเนื้อหูรูด 2 หูรูด คือ

>> คาร์ดิแอกสฟิงเตอร์ (Cardiac Sphincter) อยู่ติดกับหลอดอาหาร ป้องกันไม่ให้อาหารย้อนกลับขึ้นไปข้างบน

>> ไพลอริกสฟิงเตอร์ (Pyloric Sphincter) อยู่ติดกับลำไส้เล็กส่วนบน ป้องกันไม่ให้อาหารลงสู่ลำไส้เล็กเร็วเกินไป

- ลำไส้เล็ก (Small Intestine) เป็นท่อยาวประมาณ 6 – 7 เมตร กว้างประมาณ 2.5 เซนติเมตร ทำหน้าที่ย่อยอาหารเพิ่มเติม ทั้งอาหารที่ย่อยแล้วและยังไม่ย่อย

• มี 3 ส่วน คือ

>> ดูโอดีนัม (Duodenum) สั้นที่สุด คือ ประมาณ 25 เซนติเมตร แต่มีการย่อยและดูดซึมมากที่สุด

>> เจจูนัม (Jejunum) ยาวประมาณ 2.5 เมตร มีการย่อยเพิ่มเติมเล็กน้อย

>> ไอเลียม (Ileum) ขดตัวและยาวที่สุด คือ ประมาณ 4 เมตร ช่วยดูดซึมเกลือน้ำดีและวิตามินบี 12

• เอนไซม์ที่ใช้ในลำไส้เล็กทำงานได้ดีในสภาวะที่เป็นเบส สร้างจากอวัยวะดังต่อไปนี้

>> เอนไซม์ที่ลำไส้เล็กสร้างขึ้นเอง

→ มอลเทส (Maltase) ย่อยน้ำตาลมอลโทส (Maltose) → เป็นกลูโคส

→ แล็กเทส (Lactase) ย่อยน้ำตาลแล็กโทส (Lactose) → เป็นกลูโคสกับกาแล็กโทส

→ ซูเครส (Sucrase) ย่อยน้ำตาลซูโครส (Sucrose) → เป็นกลูโคสกับฟรุกโตส

→ อะมิโนเพปซิเดส (Aminopepsidase) ตัดหมู่อะมิโนของกรดอะมิโน

→ ไตรเพปทิเดส (Tripeptidase) ย่อยไตรเพปไทด์ให้สั้นลง

→ ไดเพปทิเดส (Dipeptidase) ย่อยไดเพปไทด์ให้สั้นลง

>> เอนไซม์ที่ตับอ่อนสร้างมาช่วย

→ อะไมเลส (Amylase) ย่อยแป้ง → เป็นน้ำตาลมอลโทส

→ ไลเปส (Lipase) ย่อยไขมัน → เป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล

→ ทริปซิน (Trypsin) ย่อยโปรตีน ต่อจากเปปซิน → เป็นพอลิเพปไทด์ (Polypeptide), กรดอะมิโน

→ ไคโมทริปซิน (Chymotrypsin) ย่อยพอลิเพปไทด์ (Polypeptide) → เป็นเพปไทด์ (Peptide), กรดอะมิโน

→ คาร์บอกซิเพปทิเดส (Carboxypeptidase) ย่อยกรดอะมิโนด้วยการตัดหมู่ carboxyl ออก

• ลำไส้เล็ก เป็นส่วนที่มีการย่อยและดูดซึมมากที่สุด เพราะส่วนดูโอดีนัมได้รับเอนไซม์หลายชนิดจากทั้งตับและตับอ่อนช่วยในการย่อย และในลำไส้เล็กเองมีฮอร์โมนที่สำคัญหลายชนิด ได้แก่

>> ซีครีติน (Secretin) ช่วยกระตุ้นการสร้างและการหลั่งเอนไซม์

>> โคลีซิสโตไคนิน (Cholecystokinin) ช่วยกระตุ้นการสร้างและการหลั่งเอนไซม์

>> เอนเทอโรไคเนส (Enterokinase) ช่วยกระตุ้นทริปซิโนเจนให้เป็นทริปซิน และไปกระตุ้นน้ำย่อยโปรตีน ในรูปโปรเอนไซม์ตัวอื่นให้ทำงาน ได้แก่

→ ทริปซิน (Trypsin) ที่เคยอยู่ในรูปทริปซิโนเจน (Trypsinogen)
→ ไคโมทริปซิน (Chymotrypsin) ที่เคยอยู่ในรูปไคโมทริปซิโนเจน (Chymotrypsinogen)
→ คาร์บอกซิเพปทิเดส (Carboxypeptidase) ที่เคยอยู่ในรูปโปรคาร์บอกซิเพปทิเดส (Procarboxypeptidase)

- ลำไส้ใหญ่ (Large Intestine) ยาวประมาณ 1.5 เมตร กว้างประมาณ 6 เซนติเมตร ไม่มีการย่อย แต่ทำหน้าที่ดูดซึมน้ำ และเกลือแร่จากกากอาหารที่ลำไส้เล็กยังดูดซึมไม่หมด
  - มี 3 ส่วน คือ
    - >> ซีกัม (Caecum) ยาวประมาณ 6.3 – 7.5 เซนติเมตร มีส่วนที่เรียกว่าไส้ติ่ง (Appendix) หัวยอยู่ด้วย
    - >> โคลอน (Colon) เป็นส่วนที่ยาวที่สุด อาหารจะอยู่ในส่วนนี้นานที่สุดในระบบย่อยอาหาร
    - >> ไส้ตรง (Rectum) เมื่อกากอาหารเข้าสู่ส่วนนี้ จะกระตุ้นให้เกิดการถ่ายอุจจาระ
  - ภายในมีลำไส้ใหญ่ยังมีแบคทีเรียที่สามารถสังเคราะห์วิตามินบี 12 และวิตามินเคจากกากอาหาร และจุลินทรีย์ที่ช่วยย่อยและหมักอาหาร ผลิตก๊าซที่ทำให้เกิดการผายลม
- ทวารหนัก (Anus) อยู่เป็นส่วนสุดท้ายต่อกับไส้ตรง มีความยาวประมาณ 2.5 – 3.5 เซนติเมตร เป็นช่องทางในการขับถ่ายอุจจาระ ซึ่งก็คือกากอาหารที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้แล้ว ทวารหนักเป็นกล้ามเนื้อหูรูด 2 ชั้น คือ ชั้นในและชั้นนอก กล้ามเนื้อหูรูดชั้นนอกเป็นส่วนที่สามารถควบคุมได้ เพราะเป็นกล้ามเนื้อที่ทำงานภายใต้อำนาจจิตใจ ทำให้สามารถกลั้นอุจจาระได้

อวัยวะเพิ่มเติมที่มีส่วนในการย่อยอาหาร

แต่ไม่ใช่ทางผ่านของอาหาร

- ตับ (Liver) เป็นอวัยวะที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในร่างกาย ตั้งอยู่ใต้กระดูกซี่โครงด้านขวา ช่วยระบบย่อยอาหารในการสร้างน้ำดี (Bile) น้ำดีมีเหลืองปนเขียว มีสภาวะเป็นเบส น้ำดีไม่ใช่น้ำย่อย แต่ช่วยให้ไขมันแตกตัวเป็นขนาดเล็ก ช่วยให้ย่อยได้ง่ายขึ้น น้ำดีช่วยปรับ pH ของลำไส้เล็กให้เป็นเบส เพราะเอนไซม์ในลำไส้เล็กทำงานได้ดีในสภาวะเป็นเบส มีเกลือน้ำดี (Bile Salt) เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ช่วยให้ไขมันแตกตัว มีรงควัตถุน้ำดี (Bilirubin) ทำให้ปัสสาวะและอุจจาระมีสีเหลือง เมื่อสร้างน้ำดีเสร็จแล้วจะถูกเก็บไว้ที่ถุงน้ำดี (Gallbladder) ช่วยทำให้น้ำดีเข้มขึ้น และขับน้ำดีเข้าสู่ลำไส้เล็ก
- ตับอ่อน (Pancreas) อยู่ใต้กระเพาะอาหาร มีทั้งต่อมมีท่อ และต่อมไร้ท่อ ทำหน้าที่สร้างสารและฮอร์โมนต่างๆ เช่น
  - >> โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) – มีฤทธิ์เป็นเบส ช่วยปรับ pH ให้เอนไซม์ในลำไส้เล็กทำงานได้ดีขึ้น

>> อะไมเลส (Amylase)
>> ไลเปส (Lipase)
>> ทริปซิโนเจน (Trypsinogen)
>> ไคโมทริปซิน (Chymotrypsin)
>> คาร์บอกซิเพปทิเดส (Carboxypeptidase)
>> ฮอร์โมนอินซูลิน (Insulin) - เพิ่มการเก็บกลูโคส โปรตีน และกรดไขมัน
>> ฮอร์โมนกลูคากอน (Glucagon) - ตรงข้ามกับอินซูลิน

การดูดซึม (Absorption)

- เป็นการดูดซึมสารอาหารผ่านทางผนังทางเดินอาหาร ได้แก่ สารอาหารที่ถูกย่อยจนมีโมเลกุลขนาดเล็กที่สุด เช่น กรดอะมิโน กรดไขมัน และกลีเซอรอล จะดูดซึมเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือดเพื่อนำไปเลี้ยงทั่วร่างกาย ส่วนกรดไขมันและกลีเซอรอล จะดูดซึมเข้าไปทางหลอดน้ำเหลืองฝอย สารจำพวกน้ำ วิตามิน และเกลือแร่ ที่ไม่จำเป็นต้องย่อยสามารถดูดซึมได้ทันที แบ่งการดูดซึมออกเป็นส่วนๆ ได้ ดังนี้
  >> ปาก คอหอย และหลอดอาหาร แทบไม่มีการดูดซึมเลย
  >> กระเพาะอาหาร ดูดซึมสารที่ละลายได้ดีในไขมัน เช่น แอลกอฮอล์
  >> ลำไส้เล็ก ถือเป็นบริเวณที่มีการย่อยอาหารอย่างสมบูรณ์ ดูดซึมได้มากที่สุด เพราะมีวิลไล (Villi) ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมสารอาหาร วิลไล มีลักษณะเป็นเหมือนนิ้วยื่นออกมาจากผนังลำไส้ ส่วนที่ยื่นออกมาจากเยื่อหุ้มเซลล์ของวิลไล เรียกว่า ไมโครวิลไล (Microvilli) ข้างในจะมีเส้นเลือดฝอยอยู่เต็มไปหมดเพื่อช่วยในการลำเลียงสารอาหาร เช่น พวกกรดอะมิโน
  >> ลำไส้ใหญ่ ดูดซึมน้ำ สารอาหารและแร่ธาตุจากกากอาหารที่ลำไส้เล็กดูดซึมไม่หมด

โรคที่เกี่ยวข้องกับระบบย่อยอาหาร

- โรคแผลในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก อาจเกิดจาก การใช้ยาบางชนิดที่มีฤทธิ์กัดกระเพาะติดต่อกันเป็นเวลานาน การติดเชื้อแบคทีเรียเอชไพโลไร (H. pylori) หรือเฮลิโคแบคเตอร์ไพโลไร (Helicobacterpylori) และการทำพฤติกรรมเสี่ยง เช่น รับประทานอาหารไม่ตรงเวลา หรือทานอาหารรสจัด การสูบบุหรี่ และความ เครียด พฤติกรรมเหล่านี้สามารถทำให้เกิดการหลั่งของกรดในกระเพาะมากเกินไป มักมีอาการปวดจุกแถวใต้ลิ้นปี่เมื่อทานอาหารไม่ตรงเวลา ท้องว่าง บางครั้งทานเสร็จแล้วก็ยังคงปวดอยู่ มีทั้งแบบที่ทำให้เกิดแผลหรือไม่เกิดแผลในกระเพาะ หรือลำไส้เล็กส่วนต้น รักษาด้วยการทานยาลดกรด ยาฆ่าเชื้อแบคทีเรีย รวมถึงปรับเปลี่ยนพฤติกรรมที่ทำให้เกิดความเสี่ยง

- **โรคท้องผูก** อาจเกิดจากการไม่รับประทานอาหารที่มีเส้นใย หรือทานอาหารที่ย่อยยาก เช่น ของทอด และของมัน การใช้ยาที่มีผลข้างเคียงทำให้ท้องผูก การมีโรคประจำตัว เช่น เบาหวาน และมะเร็งลำไส้ มักมีการถ่ายน้อยลง อุจจาระแข็ง มีความลำบากในการขับถ่าย รักษาด้วยการเปลี่ยนพฤติกรรม เช่น ทานอาหารที่มีเส้นใยสูง ฝึกขับถ่ายให้เป็นเวลา หรือทานยาแก้ท้องผูก
- **โรคท้องร่วง** อาจเกิดจากการติดเชื้อ เช่น เชื้อวิโคไล เชื้อบิด เชื้อไวรัส ทั้งจากการทานอาหารที่ไม่สะอาด หรือได้รับเชื้อทางอื่น การใช้ยาที่มีผลข้างเคียงทำให้ท้องร่วง เช่น ยาระบาย การดื่มนม เนื่องจากบางคนไม่มีเอนไซม์ในการย่อยนม ซึ่งเป็นโรคทางพันธุกรรม มักมีการถ่ายเหลวมากกว่า 3 ครั้งต่อวัน หรือมีเลือดปนออกมาด้วย เพียง 1 ครั้งก็นับว่าผิดปกติ รักษาด้วยการป้องกันการขาดน้ำ ให้ดื่มเกลือแร่ ทานอาหารที่สะอาดทุกครั้ง และรักษาความสะอาดเสมอ
- **โรคกรดไหลย้อน** อาจเกิดจาก การทำพฤติกรรมเสี่ยง เช่น ทานอาหารไขมันสูง มีรสจัด นอนทันทีหลังทานอาหารเสร็จ ใส่เสื้อผ้ารัดเกินไป การใช้ยาที่มีผลข้างเคียงทำให้เกิดกรดไหลย้อน เช่น ยาลดความดัน ความผิดปกติของกล้ามเนื้อหูรูดในหลอดอาหาร มักมีอาการเจ็บคอ จุกแน่น เรอเปรี้ยว แสบหน้าอก และน้ำในลำคอมีรสขมหรือเปรี้ยว รักษาด้วยการไม่ทานมากเกินไป ไม่นอนหลังทานอาหารภายใน 3 ชั่วโมง งดของมัน ของทอด และอาหารที่มีรสจัด

บทที่ 10
ระบบหายใจ

1. กลไกการหายใจ แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

การหายใจภายนอก (External Respiration)

เป็นการแลกเปลี่ยนก๊าซเข้าสู่ร่างกายและส่งกลับคืนสู่สิ่งแวดล้อม การหายใจแบบนี้จะไม่ทำให้เกิดพลังงาน เช่น การหายใจเข้าและออก

การหายใจภายใน (Internal Respiration)

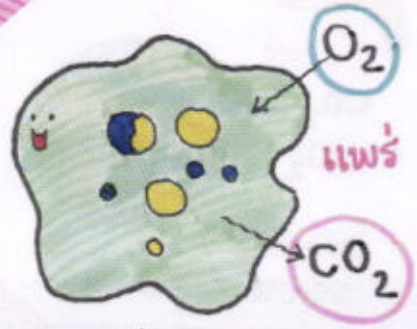
เป็นการหายใจที่ทำให้เกิดการสลายอาหาร ทำให้มีพลังงานเกิดขึ้น เช่น การหายใจระดับเซลล์

2. โครงสร้างที่สิ่งมีชีวิตใช้ในการแลกเปลี่ยนก๊าซ

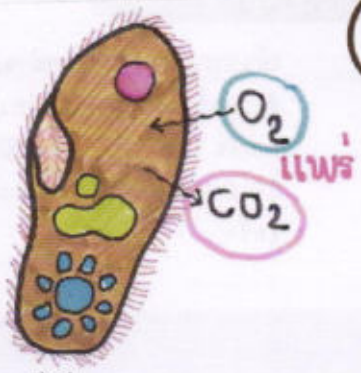
- สิ่งมีชีวิตที่มีโครงสร้างร่างกายแบบง่ายๆ จะใช้อวัยวะดังต่อไปนี้

เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell Membrane)

- ส่วนมากสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำจะใช้เยื่อหุ้มเซลล์ในการแลกเปลี่ยนก๊าซ เพราะในน้ำมีก๊าซออกซิเจนน้อยกว่าในอากาศ และต้องใช้เวลาในการแลกเปลี่ยนก๊าซให้น้อยที่สุด เช่น อะมีบา และพารามีเซียม ที่อาศัย 'การแพร่ (Diffusion)' ของก๊าซผ่านทางเยื่อหุ้มเซลล์



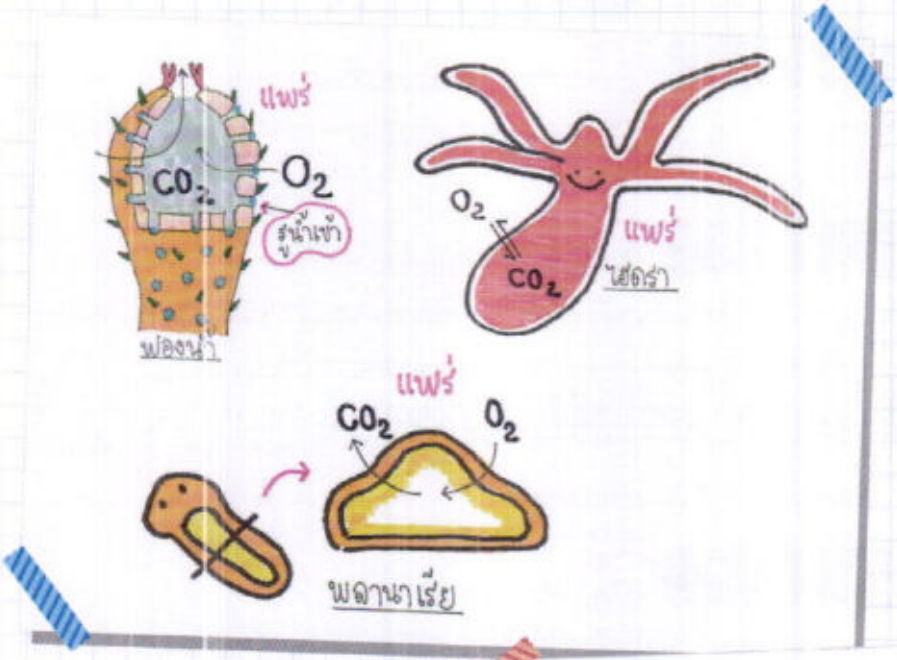
อะมีบา



พารามีเซียม

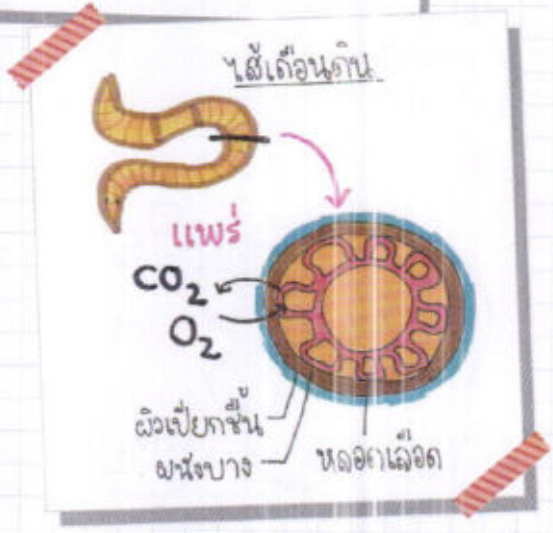
ผิวด้านนอกของร่างกาย

- ส่วนมากจะเป็นสัตว์ที่มีโครงสร้างร่างกายซับซ้อนขึ้น และอาศัยอยู่ในน้ำ เช่น
  - ฟองน้ำ ใช้การไหลเข้า-ออกของน้ำ ผ่านทางรูรอบตัว โดยจะมีการแลกเปลี่ยนก๊าซไปด้วย
  - ไฮดรา ที่ผิวหนังรอบตัวจะมีเซลล์สำหรับการแลกเปลี่ยนก๊าซได้โดยตรง
  - พลานาเรีย ลีบตัวให้แบน เพื่อเพิ่มพื้นผิวซึ่งใช้แลกเปลี่ยนก๊าซ



ผิวหนัง

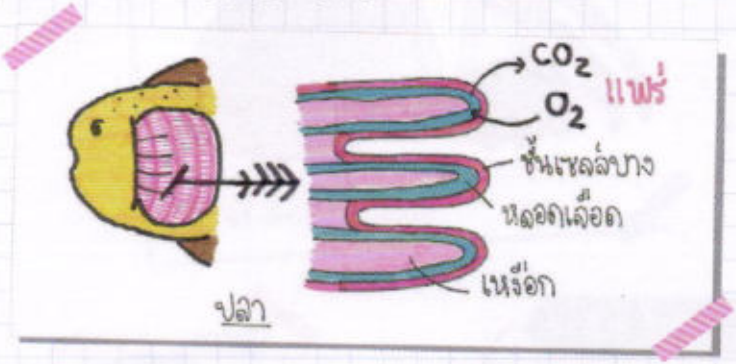
เป็นการแลกเปลี่ยนก๊าซผ่านผิวหนังที่เปียกชื้น ทำให้แลกเปลี่ยนได้เร็วมากขึ้น เช่น ไส้เดือนดิน มีผิวบาง และมีการขับเมือกออกมาช่วยให้ผิวชุ่มชื้น



- สิ่งมีชีวิตที่มีโครงสร้างร่างกายหลากหลายและซับซ้อนมากขึ้น จะใช้อวัยวะดังต่อไปนี้

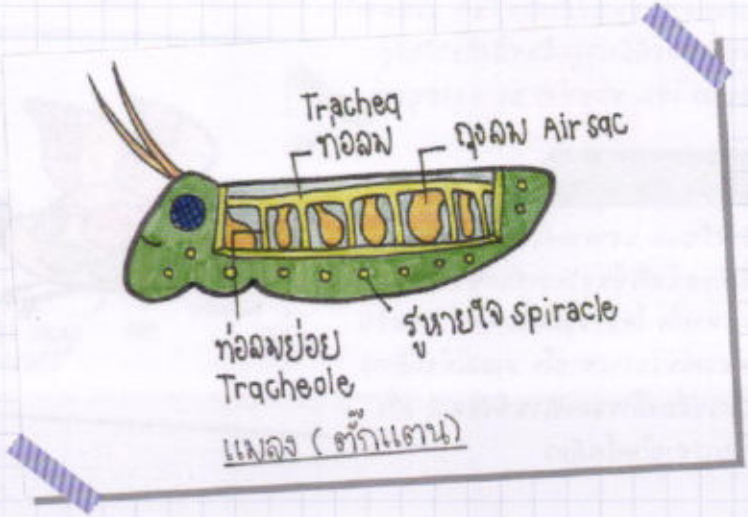
เหงือก (Gill)

- ส่วนมากสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำจะใช้เหงือกในการแลกเปลี่ยนก๊าซ เช่น ปลา กุ้ง ตัวอ่อนแมลง และสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำระยะที่อาศัยในน้ำ โดยในเหงือกของปลาจะมีเส้นเลือดฝอยจำนวนมาก ทำให้มีการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ดียิ่งขึ้น



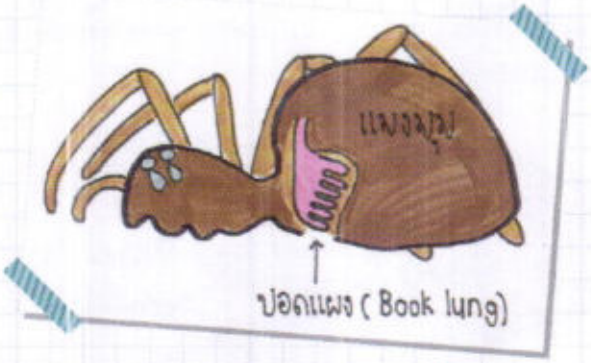
ระบบท่อลม (Tracheal System)

- พบในสัตว์จำพวกแมลงทั้งหลาย โดยแมลงจะใช้ท่อลมในการแลกเปลี่ยนก๊าซโดยตรง เพราะท่อลมจะอยู่ชิดกับเซลล์ ระบบท่อลมประกอบไปด้วย
  - รูเปิด หรือ รูหายใจ (Spiracle) เป็นรูขนาดเล็กอยู่ติดกับลำตัว
  - ท่อลม (Trachea) เป็นท่อที่อยู่กระจัดกระจายตามลำตัว
  - ท่อลมย่อย (Tracheole) อยู่ตามปลายของท่อลม
  - ถุงลม (Tracheal Air Sac) มีเฉพาะในแมลงบางชนิด เช่น ตั๊กแตน



ปอดแผง (Book Lung)

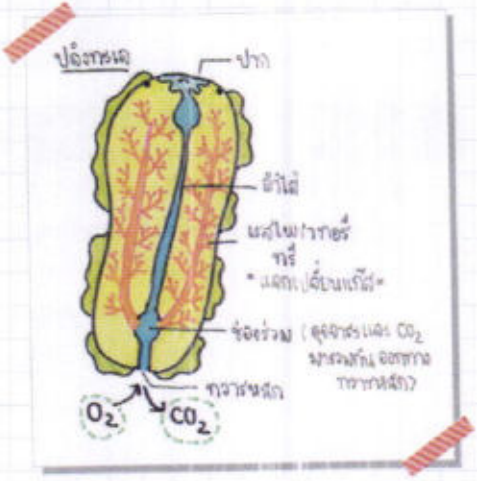
- มีลักษณะคล้ายเหงือกและเป็นแผ่นเรียงกันคล้ายหนังสือ ด้านในปอดแผงจะมีของเหลวสำหรับนำก๊าซออกซิเจนไปเลี้ยงทั่วร่างกาย พบในแมงมุม และแมงป่อง



เรสไพราทอรี ทรี

(Respiratory tree)

- เป็นท่อที่แตกแขนงแผ่กว้างเต็มภายในลำตัว คล้ายกิ่งก้านของต้นไม้ พบในปลิงทะเล

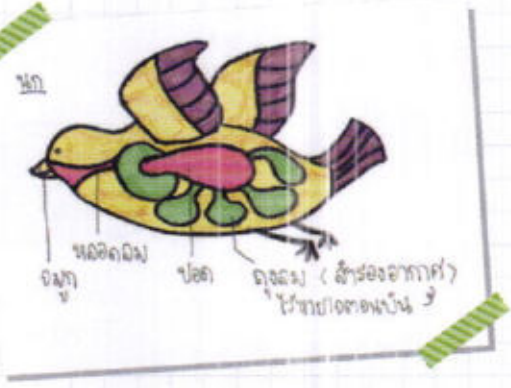


ปอด (Lung)

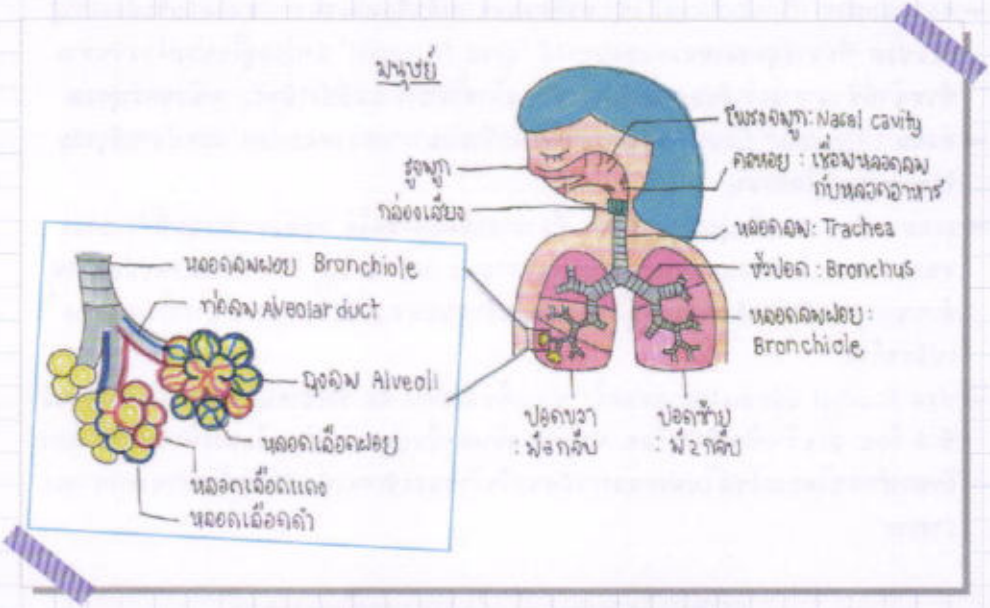
- เมื่ออากาศเข้าทางจมูกแล้วจะถูกนำเข้าสู่ปอดเพื่อไปแลกเปลี่ยนก๊าซกันภายในก่อนแล้วค่อยส่งไปยังส่วนอื่นๆ ส่วนมากพบในสัตว์ที่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่บนบก เช่น งูงูทาก นก และมนุษย์

ถุงลม (Air Sac)

- สำหรับนก นอกจากปอดแล้วยังมีถุงลมซึ่งทำหน้าที่เป็นอวัยวะพิเศษช่วยในการหายใจ โดยช่วยเก็บอากาศไว้สำหรับให้ปอดใช้ในการหายใจ ส่งผลให้นกมีการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนที่ปอด 2 ครั้งต่อการหายใจครั้งเดียว



3. ระบบหายใจของมนุษย์



อวัยวะที่ใช้ในการหายใจ → ได้แก่

- รูจมูก (Nostril)
  - อยู่ปลายสุดของจมูก เป็นทางเข้าออกของอากาศ ลำเลียงอากาศเข้าสู่โพรงจมูกต่อไป
- โพรงจมูก (Nasal Cavity) เป็นโพรงสำหรับเป็นทางเข้าออกของอากาศ ข้างในมีขนจมูกและน้ำเมือกสำหรับกรองสิ่งสกปรกออกก่อนเข้าสู่ชิ้นต่อไป
  - ช่วยปรับอุณหภูมิของอากาศให้เท่ากับร่างกาย รวมถึงมีหน่วยรับรู้กลิ่นเพื่อรับกลิ่น
- คอหอย (Pharynx) เป็นทางผ่านของอากาศ และเป็นตำแหน่งที่เชื่อมระหว่างหลอดลมและหลอดอาหาร
- กล่องเสียง (Larynx) เป็นอวัยวะสำหรับสร้างเสียง ภายในมีขนและเมือกสำหรับดักจับสิ่งสกปรก ด้านบนมีฝาปิดกล่องเสียง (Epiglottis) ไว้คอยปิดเวลาอาหารเข้ามา เพื่อไม่ให้อาหารตกลงไปในกล่องเสียงและหลอดลม ประกอบไปด้วย เส้นเสียงที่จะทำให้เกิดเสียงเมื่อสั่น รูกล่องเสียง ต่อมไทรอยด์ และลูกกระเดือก
- หลอดลม (Trachea) เป็นท่อกลวงรูปตัว U อยู่ต่อจากกล่องเสียงและอยู่ด้านหน้าของหลอดอาหาร แล้วแตกออกเป็น 'หลอดลมขั้วปอด (Bronchus)' สองด้านเข้าสู่ปอด ภายในมีขนและเมือกสำหรับดักจับสิ่งสกปรกและสิ่งแปลกปลอม

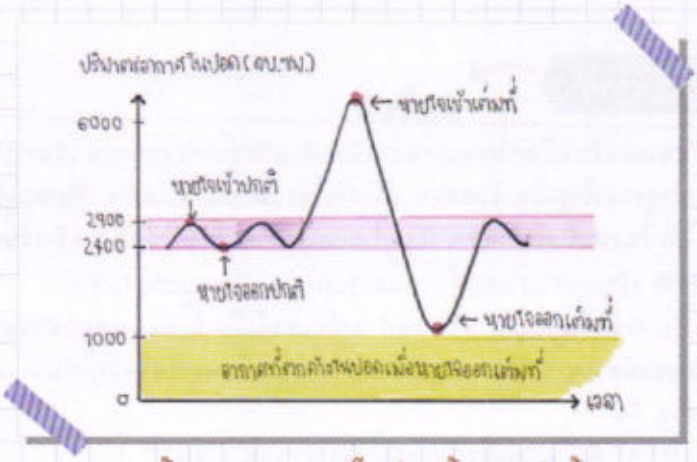
- หลอดลมขั้วปอด (Bronchus) แยกเป็นข้างซ้ายและข้างขวา เข้าสู่ปอด และมีการแตกแขนงออกไปโดยมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ จนกลายเป็น 'หลอดลมฝอย (Bronchiole)'
- หลอดลมฝอย (Bronchiole) เป็นหลอดลมขนาดเล็กที่แตกแขนงจากหลอดลมขั้วปอดเข้าสู่เนื้อปอด ที่ปลายสุดของหลอดลมฝอยจะมี 'ถุงลม (Alveoli)' แทรกอยู่ในปอดจำนวนมาก ทำหน้าที่นำอากาศเข้าสู่ปอด และแลกเปลี่ยนก๊าซได้บ้าง แต่มีประสิทธิภาพน้อยกว่าถุงลม
- ท่อลม (Alveolar Duct) เป็นท่อขนาดเล็กซึ่งต่อมาจากหลอดลมฝอย ส่วนปลายมีถุงลมจำนวนมากอยู่โดยรอบ
- ถุงลม (Alveoli) เป็นถุงเล็กๆ พองๆ ที่สามารถยืดและหดได้ อยู่ต่อจากท่อลมที่ปลายของหลอดลมฝอย โดยปอดแต่ละข้างจะมีถุงลมประมาณ 300 ล้านถุง ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนก๊าซ ด้านนอกถุงลมมีเส้นเลือดฝอยอยู่โดยรอบเป็นจำนวนมากเพื่อเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนก๊าซ
- ปอด (Lung) มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ แยกเป็นสองข้าง คือ ข้างซ้ายและข้างขวา ปอดข้างขวามี 3 ก้อน ส่วนข้างซ้ายมี 2 ก้อน ทำให้ปอดข้างขวาใหญ่กว่าข้างซ้าย โดยจะทำหน้าที่รับเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปฟอกและเปลี่ยนเป็นก๊าซออกซิเจนเพื่อนำไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกาย

สรุปการเดินทางของอากาศในระบบหายใจของมนุษย์

อากาศ → รูจมูก → โพรงจมูก → คอหอย → หลอดลม → หลอดลมขั้วปอด →

ท่อลม → ถุงลม → เส้นเลือดฝอย → เซลล์ (O_2 CO_2) = รับ O_2, ปล่อย CO_2 กลับทางเดิม

- โดยปกติการหายใจเข้าหนึ่งครั้งจะได้รับอากาศเข้าสู่ปอดประมาณ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าหายใจเข้าเต็มที่อาจได้ถึง 6,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าหายใจออกเต็มที่จะเหลืออากาศค้างอยู่ในปอด 1,100 ลูกบาศก์เซนติเมตร การขยายหรือหดนั้นจะทำได้แค่เท่าที่กล้ามเนื้อกะบังลมและกล้ามเนื้อซี่โครงจะทำได้

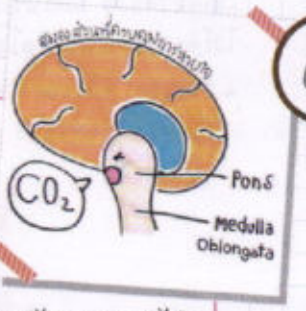


ขั้นตอนของการหายใจ มี 2 ขั้นตอน ดังนี้

	การหายใจเข้า (Inspiration)	การหายใจออก (Expiration)
กระดูกซี่โครง	ยกสูงขึ้น	ลดต่ำลง
กล้ามเนื้อกะบังลม	หดตัว	คลายตัว
กล้ามเนื้อยึดกระดูกซี่โครงส่วนนอก	หดตัว	คลายตัว
กล้ามเนื้อยึดกระดูกซี่โครงส่วนใน*	คลายตัว	หดตัว
กล้ามเนื้อหน้าท้อง*	คลายตัว ท้องขยาย	หดตัว ท้องแฟบ
ช่องทรวง	ขยาย	แฟบ
ความกดดันของช่องอกและปอด	ลดลง	เพิ่มขึ้น
ปริมาตรของปอด	เพิ่มขึ้น	ลดลง

*จะมีบทบาทเมื่อหายใจอย่างแรงเท่านั้น

การควบคุมการหายใจ



- ตามปกติระบบประสาทอัตโนวัติ (Autonomic Nervous System) จะทำหน้าที่ควบคุมการหายใจ โดยสมองส่วนที่ควบคุมการหายใจเหล่านี้ ได้แก่ เมดัลลาออบลองกาตา (Medulla Oblongata) และพอนส์ (Pons) ซึ่งจะควบคุมการหายใจให้ช้าลงหรือถี่ขึ้นตามปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์หรือออกซิเจนภายในร่างกาย แม้บางครั้งเราจะกลั้นหายใจหรือหายใจเข้าออกให้สั้น-ยาวได้บ้าง แต่ก็ไม่สามารถทำได้ตลอดไป ซึ่งการหายใจส่วนที่เราบังคับได้ จะมีซีรีบรัลคอร์เท็กซ์ (Cerebral Cortex) ไฮโปธาลามัส (Hypothalamus) และซีรีเบลลัม (Cerebellum) ควบคุมอยู่

การแลกเปลี่ยนก๊าซ

เกิดขึ้นที่

- ปอด เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ถุงลมกับเส้นเลือดฝอยที่อยู่โดยรอบถุงลม เริ่มจากออกซิเจนจะแพร่ออกจากถุงลมเข้าสู่เส้นเลือดฝอย แล้วเข้าไปรวมกับฮีโมโกลบิน (Hemoglobin หรือ Hb) ได้เป็นออกซีฮีโมโกลบิน (Oxyhemoglobin หรือ HbO_2) หรือเลือดแดง ส่งไปเลี้ยงร่างกาย เรียกกระบวนการนี้ว่า 'ออกซิเจเนชัน (Oxygenation)'

  * ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin หรือ Hb) อยู่ในเซลล์เม็ดเลือดแดง ช่วยนำออกซิเจนไปเลี้ยงยังเซลล์ต่างๆ ของร่างกายและรับเอาคาร์บอนไดออกไซด์กลับไปปอด ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

    1) ฮีม (Heme) ที่เป็นองค์ประกอบของเหล็ก จำนวน 1 อณู

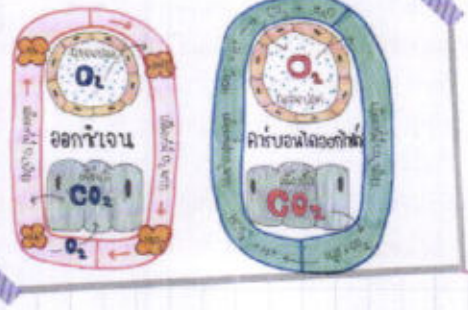
    2) โกลบิน (Globin) ที่เป็นโปรตีน จำนวน 4 สาย

- เนื้อเยื่อของออกซีฮีโมโกลบิน

  - เมื่อส่งออกซีฮีโมโกลบินไปเลี้ยงร่างกาย ออกซีฮีโมโกลบินจะคายออกซิเจนออกมา และจะส่งออกซิเจนให้เซลล์เนื้อเยื่อร่างกาย โดยที่คาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในเซลล์นั้นจะแพร่เข้าสู่เลือดแทน
  - คาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในเลือดนั้นมีความเข้มข้นสูงกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถุงลมในปอด ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดแพร่เข้าสู่ถุงลมเพื่อฟอกอีกครั้ง

การลำเลียงก๊าซในเลือด

- การลำเลียงก๊าซออกซิเจน ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการรวมตัวกับฮีโมโกลบิน จนกลายเป็นออกซีฮีโมโกลบิน ตามที่กล่าวไว้ข้างต้น (ร้อยละ 97) ที่เหลืออีกเล็กน้อยจะใช้วิธีละลายรวมอยู่ในน้ำเลือด (ร้อยละ 3)
- การลำเลียงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 70) จะทำปฏิกิริยากับน้ำในเซลล์เม็ดเลือดแดง เกิดเป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ที่แตกตัวได้เป็น ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-)
  - รองลงมา (ร้อยละ 23) จะจับกับฮีโมโกลบินของเม็ดเลือดแดงหรือละลายอยู่ในน้ำเลือด (ร้อยละ 7 เท่านั้น)



อาการที่เกี่ยวกับการหายใจผิดปกติ

- โรคถุงลมโป่งพอง (Emphysema) เป็นภาวะที่มีการขูดตันของหลอดลมทั่วปอดทั้งสองข้าง ทำให้มีภาวะออกซิเจนในเลือดต่ำ ทำให้มีอาหารหอบจนเหนื่อยมาก และไม่สามารถใช้ชีวิตได้ตามปกติเพราะต้องให้ออกซิเจนตลอดเวลา สาเหตุหลักเกิดจากการได้รับสารพิษจากควันบุหรี่มาเป็นเวลานาน ส่วนสาเหตุอื่นมาจากการขาดเอนไซม์
- โรคปอดบวม (Pneumonia) เป็นอาการปอดอักเสบ เกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรียหรือไวรัสที่เข้าสู่หลอดลมจนไปถึงเนื้อเยื่อปอด เริ่มแรกจะไออย่างรุนแรง อาจมีไข้และเสมหะ ต่อมาเสมหะจะเป็นหนองและเกิดหนองที่เยื่อหุ้มปอดในที่สุด สามารถติดต่อได้ผ่านทางการไอ จาม หรือการใช้ของร่วมกันกับผู้ป่วย เช่น ผ้าเช็ดหน้า
- การไอ เป็นการตอบสนองเมื่อมีสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่ร่างกาย ถือเป็นการหายใจอย่างรุนแรงเพื่อกำจัดเชื้อโรค ป้องกันไม่ให้เข้าสู่อวัยวะส่วนอื่น หากมีอาการไออย่างรุนแรงจะส่งผลเสียต่อร่างกายอย่างมาก เช่น กระดูกอ่อนซี่โครงหัก หรือเหนื่อยหอบ
- การสะอึก คือการหดตัวเป็นจังหวะของกะบังลม ซึ่งตอนที่หดตัว อากาศจะเข้าไปทำให้สายเสียงที่กล่องเสียงสั่น ทำให้เกิดเสียงเวลาที่เราสะอึก ไม่ทราบสาเหตุที่แน่นอน อาจเกิดจากการกินอาหารเร็วไป หรือเกิดจากการเจ็บป่วยบางอย่าง
- การหาว เป็นอาการที่เกิดขึ้นเอง เพื่อให้เกิดการหายใจเข้าที่ยาวและลึกมากกว่าปกติ อาจเกิดขึ้นตอนที่สมองขาดออกซิเจน หรือร่างกายมีคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดมากไป เช่น ง่วงและอดนอน การหาวเป็นอาการที่เกิดขึ้นปกติ แต่หากเกิดมากเกินไปควรพบแพทย์
- การจาม เป็นการตอบสนองของร่างกายอีกวิธีหนึ่ง เมื่อมีเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่จมูกทำให้ระคายเคือง ข้อแนะนำควรปิดปากขณะจาม และไม่ควรกลั้นจาม เพราะอาจเป็นอันตรายต่อเยื่อแก้วหูได้

บทที่ 11
ระบบหมุนเวียนเลือด

1. วงจรของระบบหมุนเวียนเลือด

แบ่งเป็น 2 วงจร ได้แก่

ระบบหมุนเวียนเลือดแบบวงจรเปิด (Open Circulatory System)

- เป็นระบบเลือดที่ไหลออกจากหัวใจแล้วไม่จำเป็นต้องอยู่ในเส้นเลือดตลอดเวลา
- เมื่อเลือดไหลออกจากหัวใจแล้วจะไหลผ่านช่องว่างของลำตัวหรืออวัยวะจากนั้นจึงไหลกลับหัวใจ
  - ทำให้เลือดและน้ำเหลืองจะไหลมาปนกันได้ เรียกว่า ฮีโมลิมน์ (HaemolymphX)
  - ทางผ่านของฮีโมลิมน์ เรียกว่า ฮีโมซีล (Heamocoel)
- พบในแมลง แมง กุ้ง กั้ง ปู ตะขาบ กิ้งกือ และหอย เป็นต้น

open circulatory system

ระบบหมุนเวียนเลือดแบบวงจรปิด (Closed Circulatory System)

- เป็นระบบที่เลือดจะไหลเวียนอยู่ในเส้นเลือดและหัวใจตลอดเวลา
- เลือดจะไหลจากหัวใจไปตามเส้นเลือดชนิดต่างๆ แล้วไหลกลับเข้าสู่หัวใจ มีหลอดเลือดฝอยเชื่อมระหว่างหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ มีข้อดี คือ สามารถส่งเลือดไปเลี้ยงได้ทั่ว มีปริมาตรเลือดคงที่และควบคุมความดันเลือดได้
- พบในไส้เดือนดิน ทากดูดเลือด หมึก และสัตว์มีกระดูกสันหลังทุกชนิด

closed circulatory system

2. การลำเลียงสารในร่างกายของสัตว์

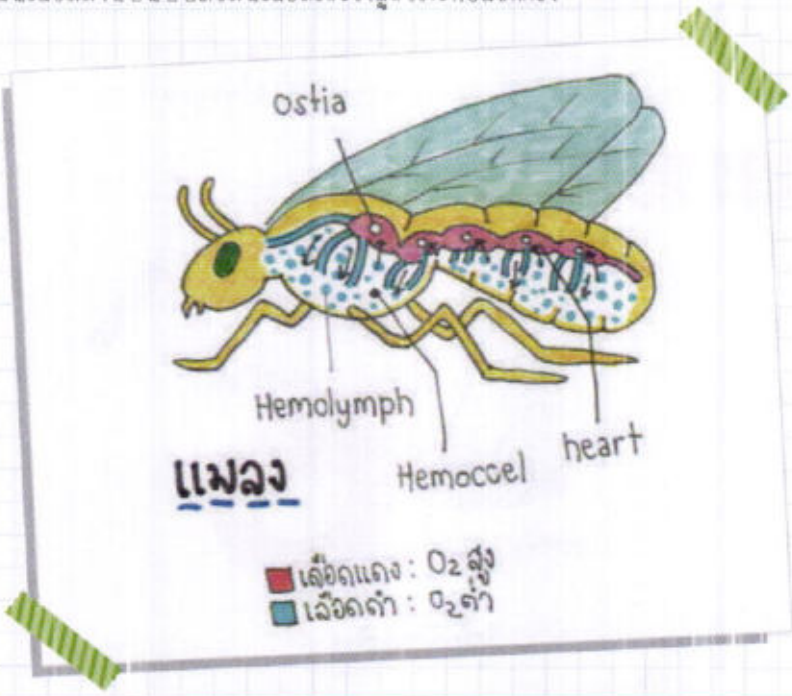
สัตว์ที่ไม่มีระบบหมุนเวียนเลือด เช่น

- ฟองน้ำ จะใช้แฟลกเจลลัมผัดน้ำที่ไหลเข้าสู่ร่างกายพร้อมอาหารและขับของเสียออกไป
- ไฮดรา และ พลานาเรีย ใช้การแพร่ในการแลกเปลี่ยนสารและขับถ่ายของเสีย ถือเป็นการแลกเปลี่ยนสารกับสิ่งแวดล้อมโดยตรงผ่านลำตัวที่เปียกชื้นอยู่ตลอดเวลา

สัตว์ที่มีระบบหมุนเวียนเลือด เช่น

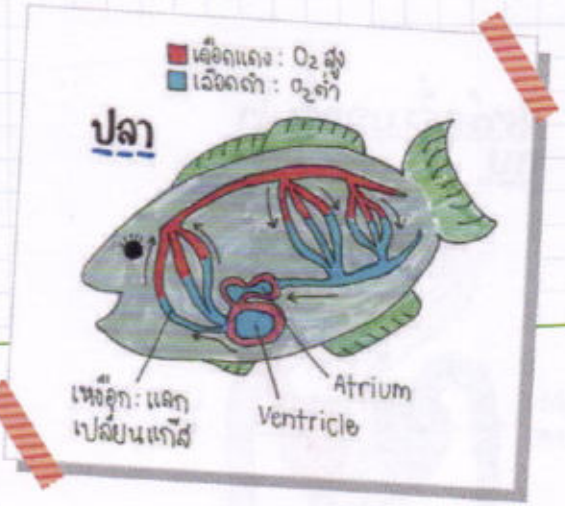
- ไส้เดือนดิน
  - มีระบบหมุนเวียนเลือดแบบวงจรปิด
  - มีเส้นเลือด 3 ชนิด ได้แก่
    - เส้นเลือดด้านบน (Dorsal Blood Vessel)
    - เส้นเลือดด้านล่าง (Ventral Blood Vessel) อยู่ใต้ทางเดินอาหาร
    - เส้นเลือดฝอย (Capillary)
  - มีหัวใจเทียม (Pseudoheart)
    - ประกอบไปด้วยห่วงเลือดที่พองหรือบีบตัวอยู่รอบๆ หลอดอาหาร
    - เป็นตัวเชื่อมระหว่างเส้นเลือดด้านบนและหลอดเลือดด้านล่าง
    - ทำหน้าที่ในการสูบฉีดเลือดไปตามเส้นเลือดทั้ง 2 เส้น
  - สรุประบบหมุนเวียนเลือดของไส้เดือนดิน ดังนี้

1) หัวใจเทียมจะสูบฉีดเลือดเข้าสู่เส้นเลือดด้านบน ไปยังส่วนหัวและส่งต่อไปตามเส้นเลือดด้านล่าง
2) เลือดที่ส่งไปนั้นจะไหลไปตามเส้นเลือดฝอย เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างเซลล์กับเลือดที่ผนังเส้นเลือดฝอย
3) เลือดที่ถูกใช้จนมีปริมาณออกซิเจนต่ำจะกลับสู่เข้าสู่เส้นเลือดด้านบนทางท้องลำตัว
4) เส้นเลือดด้านบนบีบตัวดันเลือดให้เข้าสู่หัวใจเทียมอีกครั้ง



แมลง

- มีระบบหมุนเวียนเลือดแบบวงจรเปิด
- โดยเลือดของแมลงจะเรียกว่า ฮีโมลิมพ์ (Hemolymph) มีสีฟ้าอ่อนหรือไม่มีสี
- เมื่อเลือดออกจากหัวใจไปตามเส้นเลือด
  - แมลงไม่ต้องใช้หลอดเลือดฝอยในการนำเลือดเข้าสู่เนื้อเยื่อ ซึ่งเลือดจะสัมผัสกับเนื้อเยื่อโดยตรง
  - จะมีฮีโมซีล (Hemocoel) ที่เป็นช่องสำหรับรับเลือด เมื่อให้เลือดออกจากหลอดเลือดเข้าสู่ช่องนี้
- หลังจากเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซที่เนื้อเยื่อเรียบร้อยแล้ว
  - เลือดที่มีออกซิเจนต่ำออกจากรูฮีโมซีลจะกลับเข้าสู่หัวใจผ่านทางรูเปิดออสเตีย (Ostia) ซึ่งเป็นรูเปิดให้เลือดกลับเข้าสู่หัวใจได้ขณะที่หัวใจคลายตัว



- ปลา
  - มีระบบหมุนเวียนเลือดแบบวงจรปิด
  - มีหัวใจจริงทำงานได้ด้วยกล้ามเนื้อหัวใจ ซึ่งมี 2 ห้อง ได้แก่
    - ห้องบน เรียกว่า เอเตรียม (Atrium)
    - ห้องล่าง เรียกว่า เวนตริเคิล (Ventricle)
      - >> เลือดที่ไหลผ่านหัวใจปลามีเฉพาะเลือดที่มีออกซิเจนต่ำเท่านั้น
  - เหงือกจะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนในน้ำกับเลือด
  - เส้นเลือดจะคอยรับส่งเลือดไปที่เหงือก และจะเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซทางเส้นเลือดฝอย
  - สรุประบบหมุนเวียนเลือดของปลา ดังนี้

    1) เริ่มจากเลือดไหลจากเอเตรียมเข้าสู่เวนตริเคิล

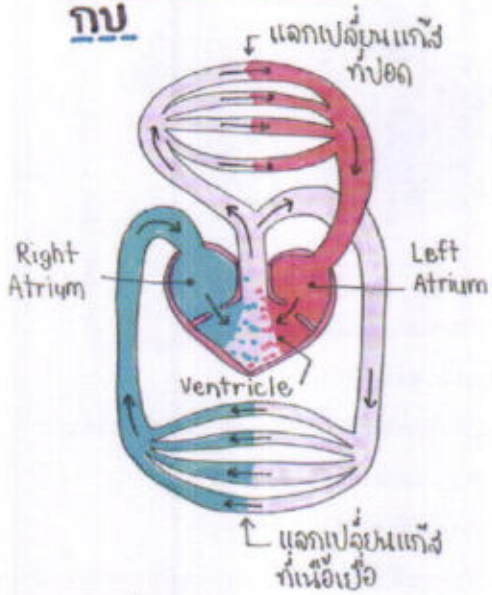
    2) เวนตริเคิลบีบตัวเพื่อส่งเลือดไปเส้นเลือดที่เหงือก

    3) เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซกับน้ำที่บริเวณเหงือก

    4) ได้เลือดที่มีปริมาณออกซิเจนสูงไปเลี้ยงร่างกาย

    5) จากนั้นเลือดที่มีออกซิเจนต่ำจะกลับเข้าสู่เอเตรียมตามเดิม
- สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ
  - มีหัวใจ 3 ห้อง ได้แก่
    - ห้องบน เรียกว่า เอเตรียม (Atrium) แบ่งออกเป็น
      - >> ห้องบนซ้าย เรียกว่า เอเตรียมซ้าย (Left Atrium)
      - >> ห้องบนขวา เรียกว่า เอเตรียมขวา (Right Atrium)
    - ห้องล่าง เรียกว่า เวนตริเคิล (Ventricle)

สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ กบ

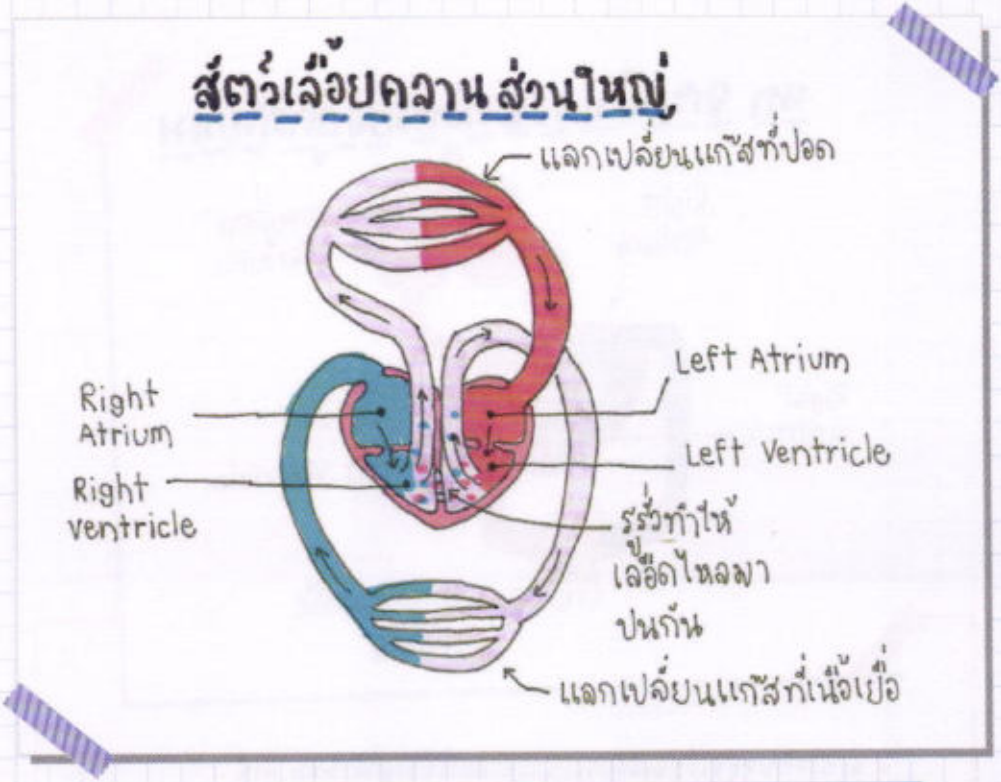


เลือดแดง : O_2 สูง
เลือดดำ : O_2 ต่ำ
เลือดผสม

- สรุประบบหมุนเวียนเลือดของสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ ดังนี้
  1) เลือดที่มีออกซิเจนต่ำเข้าสู่เอเตรียมขวา
  2) เลือดที่มีออกซิเจนสูงเข้าสู่เอเตรียมซ้าย เป็นเลือดที่ผ่านการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ผิวหนังและปอดมาแล้ว
  3) ทั้งเลือดดีและเสียไหลลงสู่เวนตริเคิล ทำให้เลือดดีและเลือดเสียบางส่วนไหลไปปนกัน
  4) เมื่อเวนตริเคิลบีบตัว
     - เลือดที่มีออกซิเจนสูงจะถูกส่งไปเลี้ยงส่วนหัว
     - เลือดที่มีออกซิเจนต่ำจะถูกส่งไปยังผิวหนังหรือปอดเพื่อแลกเปลี่ยนก๊าซ
     - เลือดที่ผสมกันจะไปเลี้ยงส่วนที่เหลือของร่างกาย
  5) เลือดทั้งออกซิเจนต่ำและสูงจะไหลกลับเข้าสู่ห้องเอเตรียมซ้ายหรือขวาตามเดิม

สัตว์เลื้อยคลาน

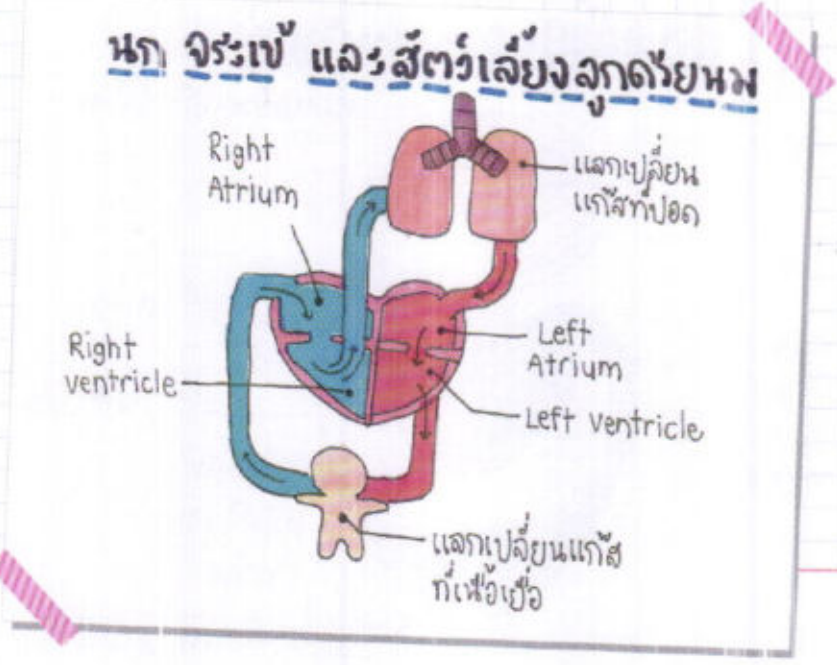
- มีหัวใจ 4 ห้องไม่สมบูรณ์ เพราะผนังที่กั้นระหว่างเวนตริเคิลซ้ายและขวานั้นยังไม่สมบูรณ์ โดยแบ่งเป็น
  - ห้องบน เรียกว่า เอเตรียม (Atrium) มี 2 ห้อง คือ ห้องซ้ายและห้องขวา
  - ห้องล่าง เรียกว่า เวนตริเคิล (Ventricle) มี 2 ห้อง คือ ห้องซ้ายและห้องขวา รวม 4 ห้อง
    - มีเพียงจระเข้เท่านั้นที่มีผนังกั้นเวนตริเคิลสมบูรณ์



- สรุประบบหมุนเวียนเลือดของสัตว์เลื้อยคลาน ดังนี้
  - เลือดที่มีออกซิเจนสูงซึ่งอยู่ในเอเตรียมซ้าย และเลือดที่มีออกซิเจนต่ำซึ่งอยู่ในเอเตรียมขวา
    - >> จะไหลมาปนกันในเวนตริเคิลทั้งห้องซ้ายและขวาเล็กน้อย
    - >> จากนั้นเลือดที่มีออกซิเจนสูง (อาจมีเลือดเสียปนบ้าง) จะถูกส่งไปเลี้ยงร่างกายก่อนแล้วกลับเข้าสู่เอเตรียมขวา
    - >> เลือดที่มีออกซิเจนต่ำจะถูกส่งจากเวนตริเคิลขวาไปฟอกที่ปอด

นกและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

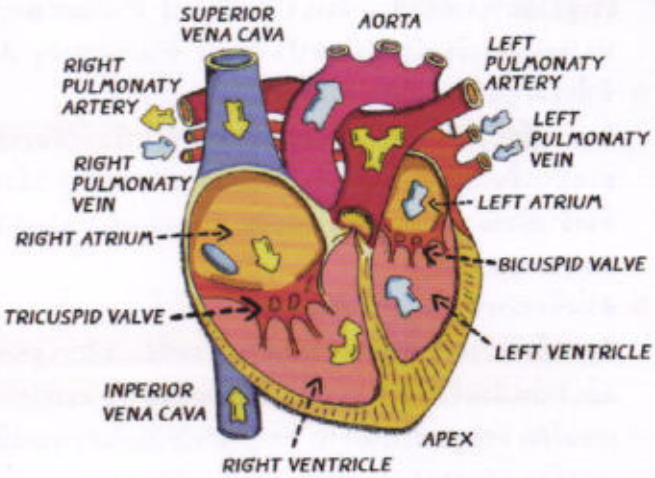
- มีหัวใจ 4 ห้องสมบูรณ์ ได้แก่
  - ห้องบน เรียกว่า เอเตรียม (Atrium) แบ่งเป็น 2 ห้อง คือ ห้องซ้ายและห้องขวา
  - ห้องล่าง เรียกว่า เวนตริเคิล (Ventricle) แบ่งเป็น 2 ห้อง คือ ห้องซ้ายและห้องขวา



- สรุประบบหมุนเวียนเลือดของนกและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ดังนี้
  - เลือดที่มีออกซิเจนสูงเข้าสู่เอเตรียมซ้าย จากนั้นลงสู่เวนตริเคิลซ้าย แล้วส่งไปเลี้ยงร่างกาย
    - หลังจากเลี้ยงร่างกายแล้วจะกลายเป็นเลือดที่มีออกซิเจนต่ำ
  - เลือดที่มีออกซิเจนต่ำเข้าสู่เอเตรียมขวา จากนั้นลงสู่เวนตริเคิลขวา แล้วส่งไปฟอกที่ปอด
    - จากนั้นจะกลายเป็นเลือดที่มีออกซิเจนสูงกลับเข้าเอเตรียมซ้ายอีกครั้ง

3. การลำเลียงสารในร่างกายของมนุษย์

อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการลำเลียงสาร

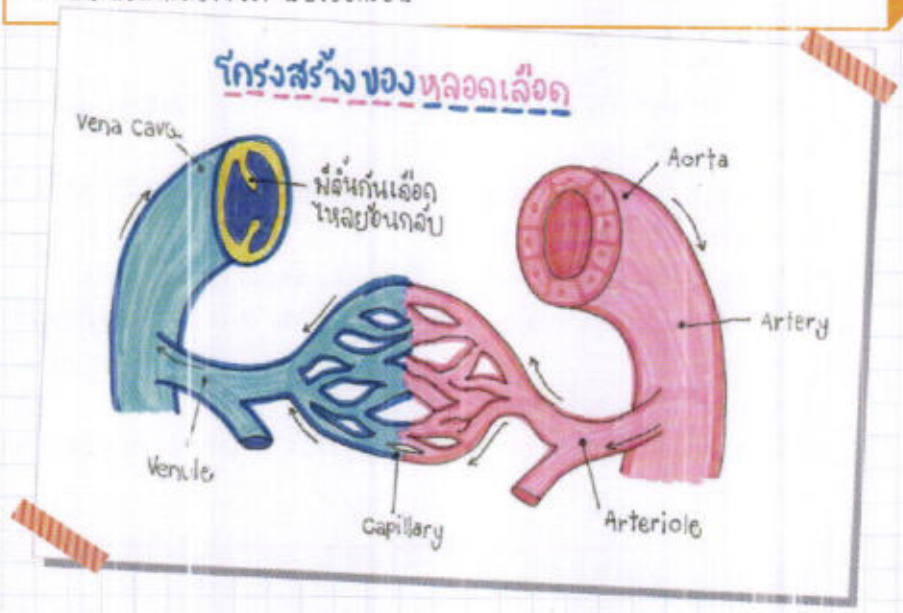


— หัวใจ (Heart)

- อยู่ระหว่างปอดสองข้าง แต่เยื้องไปทางด้านซ้าย ทำหน้าที่สูบฉีดเลือดเพื่อไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกาย
- ถูกหุ้มด้วยถุงเยื่อหุ้มหัวใจ (Pericardium) ที่สร้างของเหลวมาหล่อลื่นและป้องกันการเสียดสีขณะหัวใจบีบตัว
- ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น คือ เนื้อเยื่อชั้นนอก ชั้นกลาง และชั้นใน โดย
  - เนื้อเยื่อชั้นกลางเป็นชั้นกล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac Muscle) จึงมีความหนามากที่สุด
  - เนื้อเยื่อชั้นนอกและชั้นในเป็นชั้นเนื้อเยื่อบางๆ
- หัวใจแบ่งเป็น 4 ห้อง (Heart Chambers) ได้แก่ ด้านบน 2 ห้อง และด้านล่าง 2 ห้อง ดังนี้

- หัวใจห้องบนขวา (Right Atrium)
  ทำหน้าที่รับเลือดจากเส้นเลือดดำใหญ่ คือ ซูพีเรียเวนาคาวา (Superior Vena Cava) และอินฟีเรียเวนาคาวา (Inferior Vena Cava) แล้วส่งเลือดเข้าสู่หัวใจห้องล่างขวาผ่านทางลิ้นหัวใจไตรคัสปิด (Tricuspid Valve)
- หัวใจห้องล่างขวา (Right Ventricle)
  อยู่ด้านหน้าสุดของหัวใจ ทำหน้าที่รับเลือดจากหัวใจห้องบนขวาแล้วส่งเลือดเข้าสู่ปอดผ่านทางลิ้นหัวใจพัลโมนารีเซมิลูนาร์ (Pulmonary Semilunar Valve) และเส้นเลือดพัลโมนารีอาร์เตอรี (Pulmonary Artery)
- หัวใจห้องบนซ้าย (Left Atrium)
  มีขนาดเล็กที่สุดและอยู่ด้านหลังสุด ทำหน้าที่รับเลือดที่มีออกซิเจนจากปอดผ่านทางเส้นเลือดพัลโมนารีเวน (Pulmonary Vein) แล้วส่งเลือดเข้าสู่หัวใจห้องล่างซ้ายผ่านทางลิ้นหัวใจไบคัสปิด (Bicuspid Valve) หรือ ไมตรัล (Mitral valve)
- หัวใจห้องล่างซ้าย (Left Ventricle)
  มีขนาดใหญ่และหนาที่สุด ทำหน้าที่รับเลือดที่มีออกซิเจนสูงจากหัวใจห้องบนซ้ายแล้วส่งต่อเลือดที่มีออกซิเจนสูงไปเลี้ยงยังส่วนต่างๆ ของร่างกายผ่านทางลิ้นหัวใจเอออร์ติก เซมิลูนาร์ (Aortic Semilunar Valve) และเส้นเลือดแดงใหญ่เอออร์ตา (Aorta)

- เส้นเลือดที่เลี้ยงหัวใจ แบ่งออกเป็น



- เออออร์ตา (Aorta) เป็นเส้นเลือดแดงที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ทำหน้าที่นำเลือดแดงที่มีออกซิเจนสูงจากหัวใจห้องล่างซ้ายไปเลี้ยงร่างกาย
- เวนาคาวา (Vena Cava) เป็นเส้นเลือดดำขนาดใหญ่ทำหน้าที่รับเลือดที่มีออกซิเจนต่ำจากส่วนต่างๆ ของร่างกาย ได้แก่
  1) ซูพีเรียเวนาคาวา (Superior Vena Cava)
     >> ทำหน้าที่นำเลือดที่ออกจากส่วนหัว คอ หน้าอก และแขนเข้าสู่หัวใจทางห้องบนขวา
  2) อินฟีเรียเวนาคาวา (Inferior Vena Cava)
     >> ทำหน้าที่นำเลือดที่ออกจากส่วนของร่างกายที่อยู่ต่ำกว่ากระบังลมเป็นต้นไปเข้าสู่หัวใจห้องบนขวา
- พัลโมนารีอาร์เตอรี (Pulmonary Artery) เป็นเส้นเลือดดำแต่ชื่ออาร์เตอรีเพราะนำเลือดออกจากหัวใจ ทำหน้าที่นำเลือดจากหัวใจห้องล่างขวาไปปอดที่ปอดทั้ง 2 ข้าง แบ่งเป็น
  1) พัลโมนารีอาร์เตอรีซ้าย (Left Pulmonary Artery)
     >> ทำหน้าที่นำเลือดดำจากหัวใจห้องล่างขวาไปปอดที่ปอดซ้าย
  2) พัลโมนารีอาร์เตอรีขวา (Right Pulmonary Artery)
     >> ทำหน้าที่นำเลือดดำจากหัวใจห้องล่างขวาไปปอดที่ปอดขวา
- พัลโมนารีเวน (Pulmonary Vein) เป็นเส้นเลือดแดงแต่ชื่อเวนเพราะนำเลือดไหลกลับเข้าหัวใจ ทำหน้าที่นำเลือดแดงออกจากปอดกลับเข้าหัวใจห้องบนซ้าย
- โคโรนารีอาร์เตอรี (Coronary Artery) แบ่งเป็นเส้นซ้ายและเส้นขวา ทำหน้าที่นำเลือดไปเลี้ยงทั่วทุกส่วนของกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อหัวใจ

• ลิ้นหัวใจ (Valve) เป็นส่วนที่ป้องกันไม่ให้เลือดไหลย้อนกลับสู่บริเวณที่เลือดไหลผ่านมา ได้แก่
- ลิ้นเอตริโอเวนตริคูลาร์ (Atrioventricular Valve) กั้นระหว่างหัวใจห้องบนและห้องล่าง ได้แก่
  1) ลิ้นไตรคัสปิด (Tricuspid Valve)
     >> มี 3 แฉก กั้นระหว่างหัวใจห้องบนขวาและล่างขวา
     >> ป้องกันไม่ให้เลือดในหัวใจห้องล่างขวาไหลกลับเข้าหัวใจห้องบนขวา
  2) ลิ้นไบคัสปิด (Bicuspid Valve) หรือ ไมตรัล (Mitral Valve)
     >> มี 2 แฉก กั้นระหว่างหัวใจห้องบนซ้ายและล่างซ้าย
     >> ป้องกันไม่ให้เลือดในหัวใจห้องล่างซ้ายไหลกลับเข้าหัวใจห้องบนซ้าย
- ลิ้นเซมิลูนาร์ (Semilunar Valve) กั้นระหว่างหัวใจห้องล่างและเส้นเลือดที่นำเลือดออกจากหัวใจ ได้แก่
  1) ลิ้นเออออร์ติก เซมิลูนาร์ (Aortic Semilunar Valve) หรือเซมิลูนาร์ (Semilunar Valve)

>> อยู่ที่โคนของเส้นเลือดเอออร์ตา
>> กั้นระหว่างหัวใจห้องล่างซ้ายกับเส้นเลือดเอออร์ตา

2) ลิ้นพัลโมนารี เซมิลูนาร์ (Pulmonary Semilunar Valve) หรือเซมิลูนาร์ (Semilunar Valve)
>> อยู่ที่โคนของเส้นเลือดพัลโมนารีอาร์เตอรี
>> กั้นระหว่างหัวใจล่างขวากับเส้นเลือดพัลโมนารีอาร์เตอรี

- สรุปการหมุนเวียนเลือด ดังนี้
  - หัวใจห้องบนขวารับเลือดดำจากส่วนต่างๆ ของร่างกายมาจาก
    >> เส้นเลือดซุพีเรียเวนาคาวา (Superior Vena Cava)
    >> เส้นเลือดอินฟีเรียเวนาคาวา (Inferior Vena Cava)
  - หัวใจห้องบนขวาบีบตัว
    >> เพื่อให้เลือดไหลลงห้องล่างขวาผ่านทางลิ้นไตรคัสปิด (Tricuspid Valve)
  - หัวใจห้องล่างขวาบีบตัว
    >> เพื่อให้เลือดไหลเข้าสู่พัลโมนารี อาร์เตอรี (Pulmonary Artery)
    >> ผ่านทางลิ้นพัลโมนารี เซมิลูนาร์ (Pulmonary Semilunar Valve)
    >> เพื่อนำเลือดไปแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นก๊าซออกซิเจนที่ปอด
  - เมื่อได้เลือดที่มีก๊าซออกซิเจนสูง จะถูกส่งกลับเข้าหัวใจห้องบนซ้าย ผ่านทาง เส้นเลือดพัลโมนารีเวน (Pulmonary Vein)
  - หัวใจห้องบนซ้ายบีบตัว
    >> เพื่อให้เลือดไหลลงห้องล่างซ้ายผ่านทางลิ้นไบคัสปิด (Bicuspid Valve) หรือ ไมตรัล (Mitral Valve)
  - หัวใจห้องล่างซ้ายบีบตัว
    >> เพื่อให้เลือดไหลออกทางเส้นเลือดเอออร์ตา (Aorta) ไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกาย โดยมีลิ้นเอออร์ติก เซมิลูนาร์ (Aortic Semilunar Valve) กั้นไม่ให้เลือดกลับเข้าหัวใจห้องล่างซ้าย
  - เลือดที่ไปเลี้ยงร่างกายแล้วจะกลายเป็นเลือดที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำ หรือ 'เลือดเสีย'
    >> จะไหลกลับเข้าหัวใจห้องบนขวาทางเส้นเลือดดำเวนาคาวา (Vena Cava) อีกครั้ง

— หลอดเลือด (Blood Vessel) ได้แก่

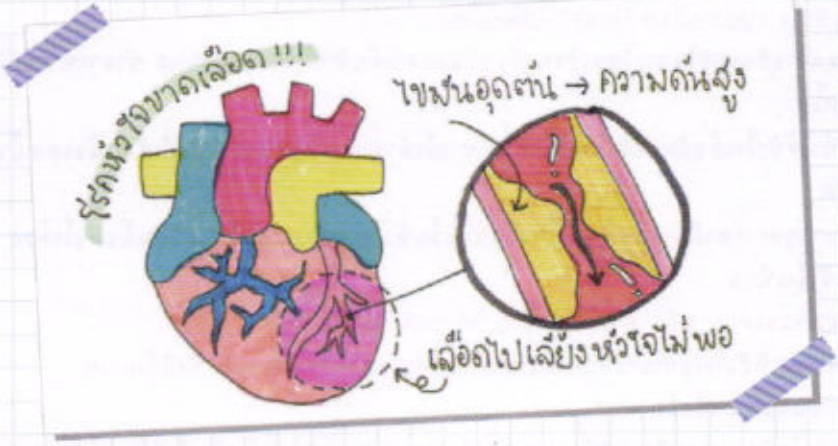
- **หลอดเลือดแดง หรือหลอดเลือดอาร์เตอรี (Artery)**
  - เป็นหลอดเลือดที่นำเลือดซึ่งมีก๊าซออกซิเจนสูงออกจากหัวใจไปเลี้ยงอวัยวะต่างๆ ทั่วร่างกาย
    - >> ยกเว้นพัลโมนารีอาร์เตอรี (Pulmonary Artery) ที่เป็นหลอดเลือดดำ
  - มีขนาดใหญ่และผนังหนา ชั้นกล้ามเนื้อมีลักษณะหนาและยืดหยุ่นได้ดี
  - ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น คือ เนื้อเยื่อบุผิวชั้นใน เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ยืดหยุ่นได้ดี
  - มี 3 ขนาด เรียงจากขนาดเล็กไปขนาดใหญ่ ได้แก่
    - >> อาร์เตอริโอล (Arteriole) เป็นหลอดเลือดแดงเล็ก บังคับการไหลของเลือดด้วยการขยายและหดตัว
    - >> อาร์เตอรี (Artery) ผนังหนาทนต่อแรงดันเลือดในการนำเลือดไปเลี้ยงร่างกาย
    - >> เอออร์ตา (Aorta) มีขนาดใหญ่และยืดหยุ่นมากที่สุด ทำหน้าที่นำเลือดแดงจากหัวใจไปเลี้ยงร่างกาย
- **หลอดเลือดดำ หรือหลอดเลือดเวน (Vein)**
  - เป็นหลอดเลือดที่นำเลือดซึ่งร่างกายใช้แล้วและมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกลับเข้าสู่หัวใจเพื่อนำไปฟอก
    - >> ยกเว้นพัลโมนารีเวน (Pulmonary Vein) ที่เป็นหลอดเลือดแดง
  - หลอดเลือดดำใหญ่ เรียกว่า เวนาคาวา (Vena Cava) ส่วนหลอดเลือดดำเล็กเรียกว่า เวนูล (Venule)
  - มีผนังบาง ยืดหยุ่นได้ไม่มากเท่าหลอดเลือดแดง แต่มีเนื้อเยื่อ 3 ชั้นเหมือนกัน
  - ภายในมีลิ้นกั้นไม่ให้เลือดไหลย้อน มีความดันต่ำ ถ้าฉีกขาดจะเป็นอันตรายเพราะห้ามเลือดได้ยาก
- **หลอดเลือดฝอย (Capillary)**
  - เป็นหลอดเลือดบางๆ ขนาดเล็กจำนวนมาก มี 2 ชนิด คือ เส้นเลือดแดงฝอย และเส้นเลือดดำฝอย
  - เชื่อมต่อระหว่างหลอดเลือดแดงเล็ก หรืออาร์เตอริโอล กับหลอดเลือดดำเล็ก หรือเวนูล
  - แทรกอยู่ในเนื้อเยื่อของอวัยวะต่างๆ ตามร่างกาย เช่น สมอง ผิวหนัง กล้ามเนื้อ แต่ไม่มีในเล็บและเส้นผม
  - ใช้การแพร่ช่วยในการแลกเปลี่ยนก๊าซ และสารต่างๆ ระหว่างเซลล์ร่างกายกับเลือด

ความดันเลือด (Blood Pressure)

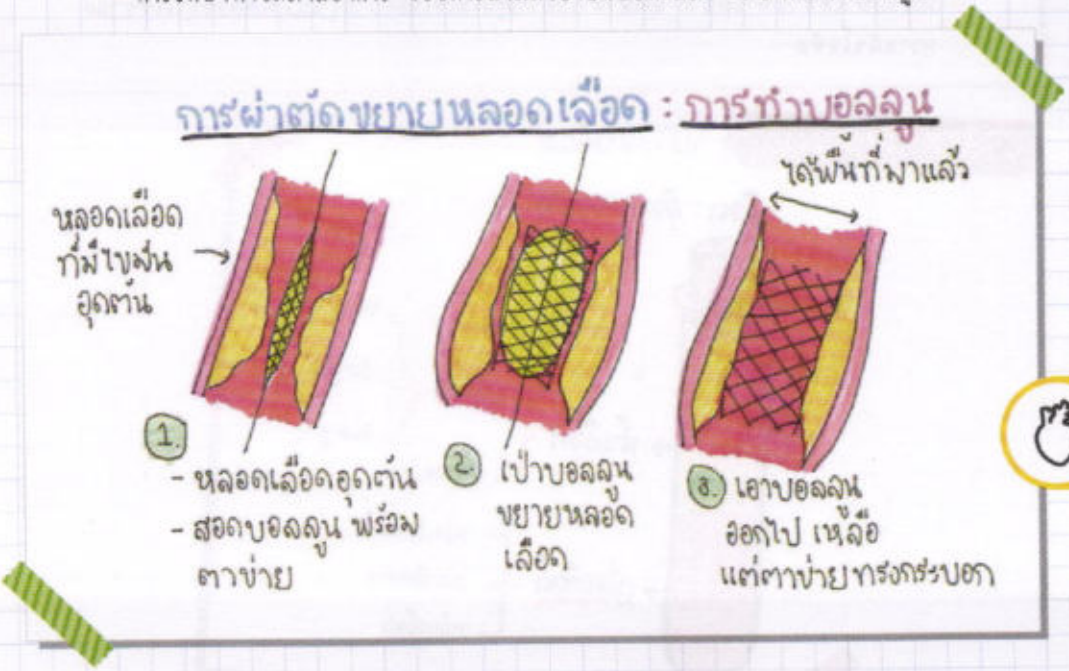
- ความดันในหลอดเลือดแดง
  - เกิดจากการบีบตัวของหัวใจ และแรงต้านทานของหลอดเลือด
  - ถ้าหลอดเลือดแดงยิ่งอยู่ใกล้หัวใจความดันจะยิ่งสูงกว่าหลอดเลือดแดงที่อยู่ไกล
  - โดยความดันในหลอดเลือดแดงจะสูงกว่าความดันในหลอดเลือดดำเสมอ
  - ปัจจัยที่ทำให้ความดันเปลี่ยนแปลง เช่น เพศ อายุ อารมณ์ อาหาร และการออกกำลังกาย เป็นต้น
- การวัดความดันเลือด มีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตรปรอท (mmHg) ค่าความดันปกติ คือ 120/80 มิลลิเมตรปรอท ถ้าความดันสูงเกิน 140/90 มิลลิเมตรปรอท ถือว่าเป็นโรคความดันโลหิตสูง
  - เมื่อวัดความดันเลือด ผลออกมาจะได้ค่าความดันเลือดเป็น 2 ระยะ ได้แก่
    1) ความดันระยะหัวใจบีบตัว หรือ ความดันซิสโตลิก (Systolic Pressure) >>
       เป็นค่าความดันเลือดขณะหัวใจบีบตัว >> เพื่อให้เลือดออกจากหัวใจ
       >> แสดงอยู่ตรงเลขส่วนหน้าในผลตรวจความดัน
    2) ความดันระยะหัวใจคลายตัว หรือ ความดันไดแอสโตลิก (Diastolic Pressure)
       >> เป็นค่าความดันเลือดขณะหัวใจคลายตัว >> เพื่อรับเลือดเข้าสู่หัวใจ
       >> แสดงอยู่ตรงเลขส่วนหลังในผลตรวจความดัน
- ชีพจร
  - เป็นการหดตัวและการคลายตัวของกล้ามเนื้อหัวใจเป็นจังหวะ โดยจะนับจำนวนครั้งที่หัวใจเต้นภายใน 1 นาที
  - คนปกติหัวใจเต้น 60 – 100 ครั้ง หรือเฉลี่ยประมาณ 72 ครั้งต่อนาที โดยที่เพศชายจะสูงกว่าเพศหญิง

ภาวะผิดปกติเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด

- โรคหัวใจขาดเลือด (Ischemic Heart Disease หรือ IHD)
  - เป็นอาการที่เลือดไปเลี้ยงหัวใจไม่พอ ส่วนใหญ่เป็นเพราะภาวะไขมันและความดันในเลือดสูง
  - จะมีอาการปวดกลางหน้าอกและอาจปวดร้าวไปบริเวณข้างเคียง มักเกิดขึ้นเวลาที่ต้องออกแรงหนักๆ
  - จัดเป็นโรคเรื้อรังและอาจเป็นอันตรายได้ทุกเวลา ควรดูแลและรักษาอย่างใกล้ชิด

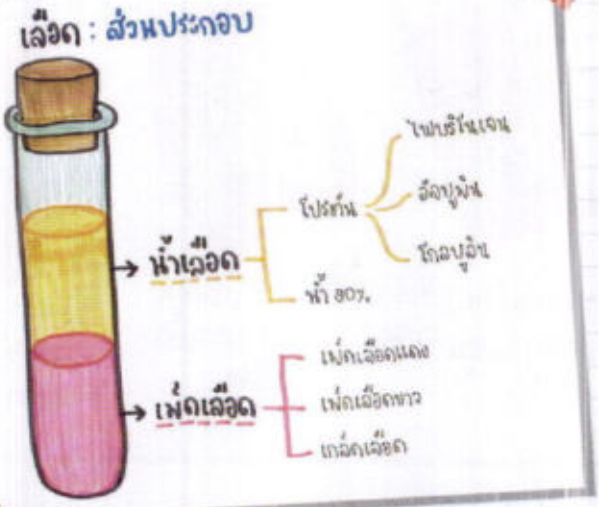


- โรคหลอดเลือดหัวใจตีบ (Atherosclerosis)
  - เป็นการบาดเจ็บของผนังหลอดเลือด เชื่อว่าอาจเกิดจากการอุดตันของคอเลสเตอรอลชนิดไม่ดี (LDL)
  - จัดเป็นโรคอันตรายเพราะทำให้อวัยวะในร่างกายขาดเลือด ซึ่งอันตรายมากหากเกิดกับอวัยวะสำคัญ
  - การรักษาทำได้ตามอาการ หรือการผ่าตัดขยายหลอดเลือด เช่น การทำบอลลูน



- **โรคลิ้นหัวใจ (Valvular Heart Disease)**
  - เป็นความผิดปกติในการไหลเวียนเลือดที่มีผลจากลิ้นหัวใจทำงานผิดปกติ ซึ่งอาจทำให้เสียชีวิตได้
  - มักทำให้หัวใจเต้นผิดปกติ เหนื่อยง่าย หายใจลำบาก เจ็บหน้าอก จนถึงหัวใจล้มเหลวในที่สุด
  - รักษาด้วยการผ่าตัดขยายลิ้นหัวใจหรือซ่อมลิ้นหัวใจ หรือการผ่าตัดเปลี่ยนลิ้นหัวใจด้วยลิ้นหัวใจเทียม
- **ภาวะหัวใจล้มเหลว หรือ ภาวะหัวใจวาย (Heart Failure)**
  - เป็นภาวะที่หัวใจไม่สามารถสูบฉีดเลือดไปเลี้ยงร่างกายได้เพียงพอ ซึ่งมีทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง
  - อาจทำให้มีอาการเพลีย เหนื่อย หายใจลำบาก นอนราบไม่ได้ เกิดน้ำคั่งในอวัยวะและเนื้อเยื่อต่างๆ เป็นต้น
  - สาเหตุเกิดจากป่วยด้วยโรคอื่นที่เกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือดต่างๆ เช่น โรคหัวใจขาดเลือด และโรคลิ้นหัวใจ
- **โรคความดันโลหิตสูง (Hypertension)**
  - เป็นภาวะที่ความดันโลหิตที่วัดได้สูงเกิน 140/90 มิลลิเมตรปรอท พบได้มากในผู้สูงอายุ
  - เป็นโรคเรื้อรังที่มักไม่มีอาการ แต่จะทำให้เกิดผลข้างเคียงเป็นโรคอื่น เช่น โรคหัวใจ
  - การรักษาให้หายทำได้ยาก แต่สามารถควบคุมไม่ให้เกิดความรุนแรงได้ด้วยการให้ยาลดความดันโลหิต

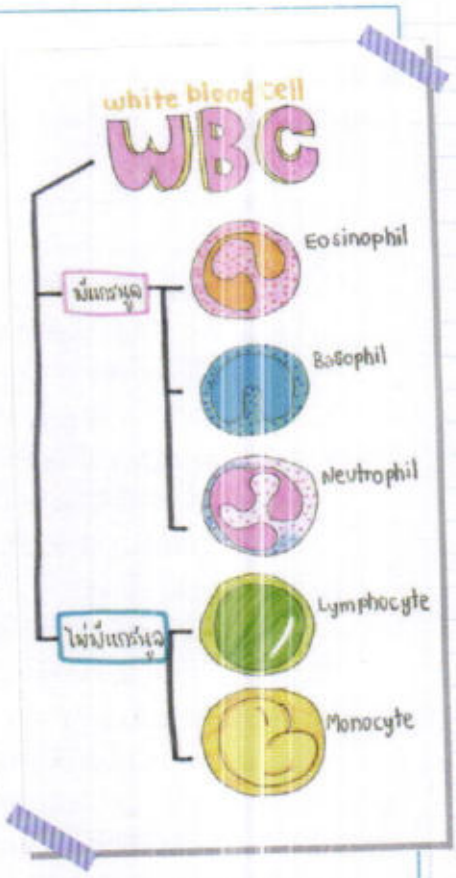
เลือด (Blood) ประกอบด้วย



- **น้ำเลือด** หรือ**พลาสมา (Plasma)** เป็นของเหลวใส สีเหลืองอ่อน มีประมาณร้อยละ 55 ของเลือดทั้งหมด ประกอบด้วย
  - น้ำ ประมาณร้อยละ 90
  - สารต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ เช่น สารอาหารที่ย่อยแล้ว แร่ธาตุ และฮอร์โมน
  - สารที่ร่างกายต้องการกำจัดออก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และยูเรีย
  - โปรตีนสำคัญหลายชนิด เช่น
    - **ไฟบริโนเจน (Fibrinogen)** ช่วยในกระบวนการแข็งตัวของเลือด โดยไฟบริโนเจนจะเปลี่ยนเป็นไฟบริน (Fibrin) เมื่อถูกกระตุ้นด้วยทรอมบิน (Thrombin)
    - **อัลบูมิน (Albumin)** ถูกสร้างขึ้นจากตับ ทำหน้าที่ช่วยจับสารอาหาร ฮอร์โมนต่างๆ และช่วยรักษาน้ำในหลอดเลือดไม่ให้ซึมออกไปนอกหลอดเลือด ซึ่งถ้าซึมออกไปจะทำให้เกิดอาการบวม
    - **โกลบูลิน (Globulin)** ช่วยในการสร้างแอนติบอดี (Antibody) หรือสารที่ช่วยในระบบภูมิคุ้มกัน
  - ทำหน้าที่ลำเลียงสารอาหารต่างๆ ที่อยู่ในพลาสมาส่งไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย รักษาความสมดุลในร่างกาย เช่น ระดับอุณหภูมิ และความเป็นกรด-เบส

- **เซลล์เม็ดเลือด (Blood Cell)** มีประมาณร้อยละ 45 ของเลือดทั้งหมด แบ่งเป็น
  - **เซลล์เม็ดเลือดแดง (Erythrocyte)**
    - ทำหน้าที่ส่งก๊าซออกซิเจนไปเลี้ยงร่างกายและรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับไปฟอกที่ปอด
    - มีลักษณะค่อนข้างกลมตรงกลางบุ๋มเว้าเข้าหากันคล้ายโดนัท
    - สีแดงเพราะองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นฮีโมโกลบิน ที่สามารถรวมตัวได้ดีกับก๊าซชนิดต่างๆ
    - ไม่มีนิวเคลียส ทำให้สามารถเพิ่มพื้นที่ผิวให้ฮีโมโกลบินจับกับก๊าซออกซิเจนได้ดีขึ้น
      >> แต่ในความเป็นจริงจะมีนิวเคลียสขณะที่เม็ดเลือดแดงเพิ่งสร้างขึ้นใหม่ๆ
    - ไม่มีไมโทคอนเดรีย ทำให้เม็ดเลือดแดงมีการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน
    - ขณะอยู่ในครรภ์ช่วงใกล้คลอดจนถึงวัยผู้ใหญ่เม็ดเลือดแดงจะถูกสร้างที่ไขกระดูก
      >> แต่หลังจากนั้นจะถูกสร้างที่ตับและม้ามด้วย
      >> โดยผู้ชายจะสร้างเม็ดเลือดแดงออกมามากกว่าผู้หญิง
    - เซลล์เม็ดเลือดแดงจะมีอายุประมาณ 100 - 120 วัน หลังจากนั้นจะถูกทำลายที่ตับและม้าม

- เซลล์เม็ดเลือดขาว (Leukocyte)
  - ทำหน้าที่ช่วยป้องกันการแพร่กระจายและทำลายเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย
  - ไม่มีสีแต่มีนิวเคลียส มีรูปร่างค่อนข้างกลม และมีจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับจำนวนเม็ดเลือดแดง
  - ถูกสร้างและเจริญเติบโตที่ไขกระดูกหรือไทมัส
  - แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่



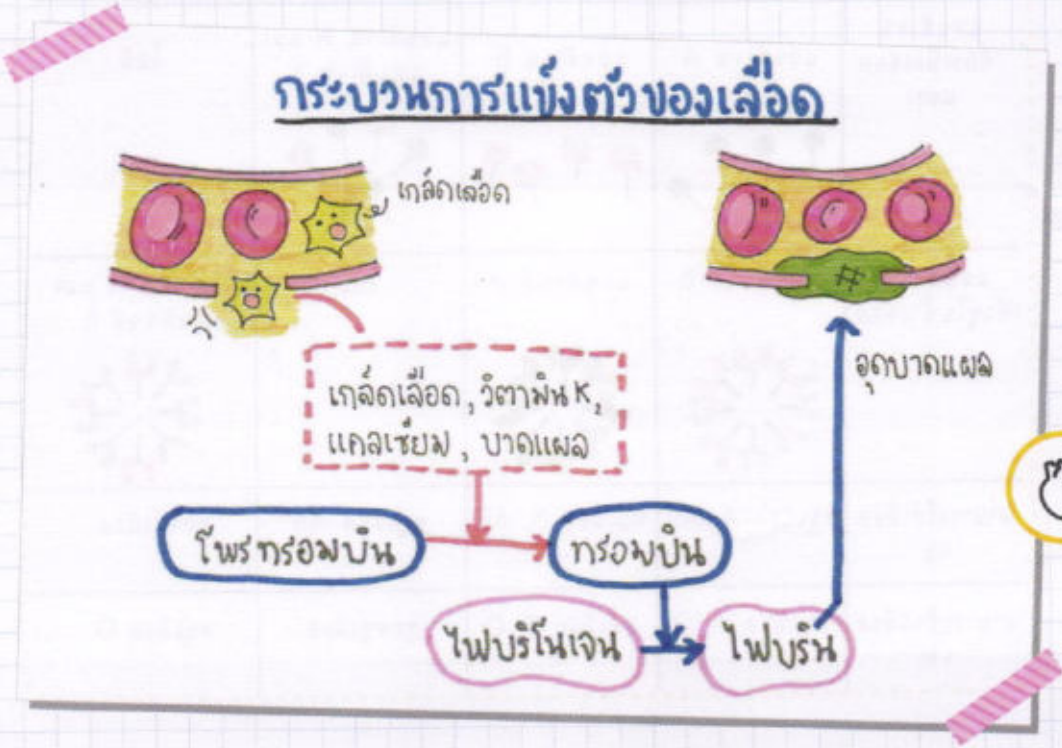
1) แกรนูโลไซต์ (Granulocyte) เป็นกลุ่มเม็ดเลือดขาวชนิดมีแกรนูล แบ่งเป็น 3 ชนิดได้แก่
   - อีโอซิโนฟิล (Eosinophil) เมื่อย้อมจะติดสีแดง เกี่ยวข้องกับการกำจัดปรสิต เช่น พยาธิ มีสารโปรไฟบริโนไลซิน (Profibrinolysin) ที่ทำให้เลือดไม่แข็งตัว
   - เบโซฟิล (Basophil) เมื่อย้อมจะติดสีน้ำเงินเข้มหรือม่วงเข้ม เคลื่อนที่เหมือนจะมีขา แต่เดินได้ช้า สามารถกินสิ่งแปลกปลอมได้ มีสารฮิสตามีน (Histamine) เวลาที่เกิดภูมิแพ้หรืออาการบาดเจ็บเนื้อเยื่อ และมีสารเฮพาริน (Heparin) สำหรับป้องกันการแข็งตัวของเลือด
   - นิวโทรฟิล (Neutrophil) เมื่อย้อมจะติดสีน้ำเงิน ม่วง และแดง มีจำนวนมากที่สุดประมาณ ร้อยละ 60 ของเม็ดเลือดขาวทั้งหมด สามารถโอบกินเชื้อโรคได้ แต่นิวโทรฟิลก็จะตายไปพร้อมสิ่งแปลกปลอม จนอาจทำให้เกิดหนองและกลายเป็นฝีต่อไป
2) อะแกรนูโลไซต์ (Agranulocyte) เป็นกลุ่มเม็ดเลือดขาวชนิดที่ไม่มีแกรนูล มี 2 ชนิด ได้แก่
   - โมโนไซต์ (Monocyte) เป็นเม็ดเลือดขาวซึ่งมีขนาดใหญ่ที่สุด
     - สร้างจากไขกระดูกแล้วออกสู่กระแสเลือด มีชีวิตประมาณ 24 ชั่วโมง
     - ทำหน้าที่ต่อสู้กับเชื้อโรคหลายชนิด เช่น แบคทีเรีย ไวรัส เชื้อรา และยีสต์
     - บางครั้งจะเปลี่ยนรูปร่างเป็นมาโครฟาจ (Macrophage) เพื่อกินเชื้อโรคด้วยวิธีฟาโกไซโตซิส โดยหลังจากกินเชื้อโรคแล้วจะจำแอนติเจนจากเชื้อโรคที่เคยพบ หากติดเชื้อแบบเดิมซ้ำมันจะหลั่งแอนติบอดีออกมาโจมตีได้ทันที
   - ลิมโฟไซต์ (Lymphocyte) ทำหน้าที่ในระบบภูมิคุ้มกัน แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ
     - ชนิดบี (B-Lymphocyte) หรือ เซลล์บี (B-Cell) สร้างและเจริญเติบโตที่ไขกระดูก
     - ชนิดที (T-Lymphocyte) หรือ เซลล์ที (T-Cell) สร้างจากไขกระดูกแล้วไปเติบโตที่ต่อมไทมัส

- **เกล็ดเลือด หรือเพลตเลต**

เป็นชิ้นส่วนของเซลล์ มีลักษณะเป็นรูปร่างไม่แน่นอน ทำหน้าที่ช่วยในกระบวนการแข็งตัวของเลือด (Blood Clotting)

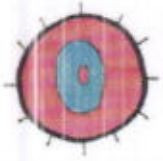
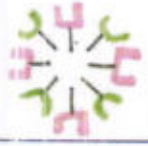
เมื่อเกิดบาดแผล :

- เกล็ดเลือดและเซลล์ที่บริเวณบาดแผล จะปล่อยเอนไซม์ทรอมโบพลาสติน (Thromboplastin)
- ปัจจัยที่ทำให้เลือดแข็งตัว เช่น เกล็ดเลือด วิตามินเค จะกระตุ้นให้โปรทรอมบิน (Prothrombin)
  - เปลี่ยนเป็นทรอมบิน (Thrombin) ที่จะไปกระตุ้นไฟบริโนเจน (Fibrinogen) ในพลาสมา ให้เป็นไฟบริน (Fibrin) หลายอันที่เป็นร่างแหโปรตีนไปประสานหลอดเลือด
  - สุดท้ายเกล็ดเลือดและเซลล์เม็ดเลือดแดงจะมาอุดแผลทำให้เลือดหยุดไหล



หมู่เลือดกับการให้เลือด

- หมู่เลือดสามารถจำแนกได้ตามชนิดของไกลโคโปรตีนหรือแอนติเจนที่เชื่อมอยู่กับเซลล์เม็ดเลือดแดง
- การให้เลือดนั้นห้ามให้เลือดที่ 'แอนติเจนของผู้ให้' ตรงกับ 'แอนติบอดีของผู้รับ' เพราะถ้าเป็นชนิดเดียวกันจะทำให้เลือดตกตะกอนและเป็นอันตรายถึงชีวิตได้
- ระบบเลือดพื้นฐานในการจำแนกหมู่เลือดที่นิยมใช้กัน ได้แก่
  - ระบบเลือด ABO
    - เป็นระบบพื้นฐานในการตรวจสอบในการจำแนกหมู่เลือดที่คนรู้จักมากที่สุด
    - แยกได้เป็นแอนติเจน เอ (Antigen A) และแอนติเจน บี (Antigen B)

เซลล์เม็ดเลือดแดง	หมู่เลือด A	หมู่เลือด B	หมู่เลือด AB	หมู่เลือด O
รูปร่างเซลล์เม็ดเลือดแดง				
แอนติเจน (ที่ผิวเม็ดเลือดแดง)	แอนติเจน A	แอนติเจน B	แอนติเจน A และ แอนติเจน B	ไม่มี
แอนติบอดี (ที่อยู่ในน้ำเลือด)	แอนติบอดี B	แอนติบอดี A	ไม่มี	แอนติบอดี A และ แอนติบอดี B 
สามารถให้เลือดกับ	หมู่เลือด A, AB	หมู่เลือด B, AB	หมู่เลือด AB	ทุกหมู่เลือด
สามารถรับเลือดจาก	หมู่เลือด A, O	หมู่เลือด B, O	ทุกหมู่เลือด	หมู่เลือด O

ระบบเลือด Rh หรือ Rhesus

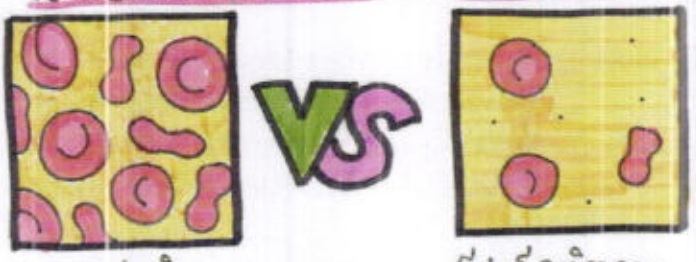
- แยกเป็นหมู่เลือด Rh+ และหมู่เลือด Rh-
- คนส่วนใหญ่มีหมู่เลือดเป็นแบบ Rh+ ในชาวเอเชียและคนไทยมีหมู่เลือดแบบนี้มากกว่าร้อยละ 99
- คนที่มีหมู่เลือดแบบ Rh- ถือเป็นผู้ที่มีเลือดหมู่พิเศษ ซึ่งจะพบมากในชาวต่างชาติ เช่น ชาวยุโรป
- ถ้าผู้ป่วยที่ต้องได้รับเลือดทดแทน
  - >> ผู้ป่วยมีหมู่เลือดเป็นแบบ Rh+ สามารถรับเลือดจากผู้ที่มีหมู่เลือดแบบ Rh+ หรือ Rh- ก็ได้
  - >> ผู้ป่วยมีหมู่เลือดเป็นแบบ Rh- สามารถรับเลือดแบบ Rh+ ได้เพียงครั้งแรกครั้งเดียวเท่านั้น
  - >> เพราะถ้าผู้ป่วยสร้างภูมิต้านทานไปทำลายเม็ดเลือดแดงขึ้นอาจถึงแก่ชีวิตได้
- ถ้าแม่มีหมู่เลือด Rh- และลูกคนแรกมีหมู่เลือด Rh+ ต้องรีบฉีดยาป้องกันให้แม่ภายใน 24 ชั่วโมง เนื่องจากแม่จะมีการสร้างภูมิคุ้มกันขึ้นมา หากมีลูกคนที่สองหรือคนต่อๆ ไปอาจเป็นอันตรายได้ และอาจทำให้ลูกคนถัดไปที่มีเลือด Rh+ เกิดอาการซีด ตัวเหลือง ตาเหลือง หรืออาจตายในครรภ์
  - >> เรียกว่า อีริโธรบลาสโตซิสฟีตาลิส (Erythroblastosis Fetalis)
- การรายงานหมู่เลือดจะออกมาเป็นทั้งระบบ ABO และระบบ Rh แต่จะไม่เขียนคำว่า Rh เช่น ถ้ามีหมู่เลือด O Rh- ก็จะเขียนว่า O^- แต่ถ้าเป็น O Rh+ จะเขียนว่า O เฉยๆ

ภาวะความผิดปกติที่เกี่ยวกับเลือด

- **โรคโลหิตจาง (Anemia)**
  - >> เป็นภาวะที่ผู้ป่วยมีเม็ดเลือดแดงน้อยหรือทำงานผิดปกติ เป็นโรคเกี่ยวกับเลือดซึ่งพบบ่อยที่สุด
  - >> มีหลายชนิดแต่ชนิดที่พบบ่อยสุด คือ ชนิดขาดธาตุเหล็ก เกิดจากการขาดธาตุเหล็กทำให้เฮโมโกลบินมีไม่พอ
  - >> ส่วนการรักษาโรคโลหิตจางแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันไปตามแผนการรักษาของแพทย์
- **โรคฮีโมฟีเลีย (Hemophilia) หรือโรคเลือดออกง่ายหยุดยาก**
  - >> เป็นภาวะซึ่งผู้ป่วยขาดปัจจัยที่จะช่วยในการแข็งตัวของเลือด ทำให้มีเลือดออกผิดปกติ
  - >> เป็นโรคทางพันธุกรรม แต่บางครั้งก็อาจเกิดได้เองโดยไม่เกี่ยวกับพันธุกรรม
  - >> อาการคือจะเป็นจ้ำเขียว มีเลือดออกภายในข้อต่างๆ ถ้ารุนแรงอาจมีอาการข้อติด และกล้ามเนื้อลีบ

- โรคลูคีเมีย หรือ มะเร็งเม็ดเลือดขาว (Leukemia)
  - >> เป็นภาวะที่ไขกระดูกมีการทำงานและสร้างเม็ดเลือดขาวในปริมาณผิดปกติ จึงทำให้ภูมิคุ้มกันบกพร่อง
  - >> ยังไม่รู้สาเหตุแน่นอน แต่ปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดโรคนี้ เช่น พันธุกรรมที่ผิดปกติ และการได้รับรังสีที่เป็นอันตราย
  - >> ปัจจุบันยังไม่มีวิธีป้องกันและวิธีการตรวจพบมะเร็งชนิดนี้ตั้งแต่เนิ่นๆ จึงต้องคอยสังเกตตัวเองเสมอ

เปรียบเทียบเม็ดเลือดของคนปกติ vs คนเป็นโรค



คนปกติ โรคโลหิตจาง

เปรียบเทียบเลือดของคนปกติ vs คนเป็นโรค

คนปกติ มะเร็งเม็ดเลือดขาว

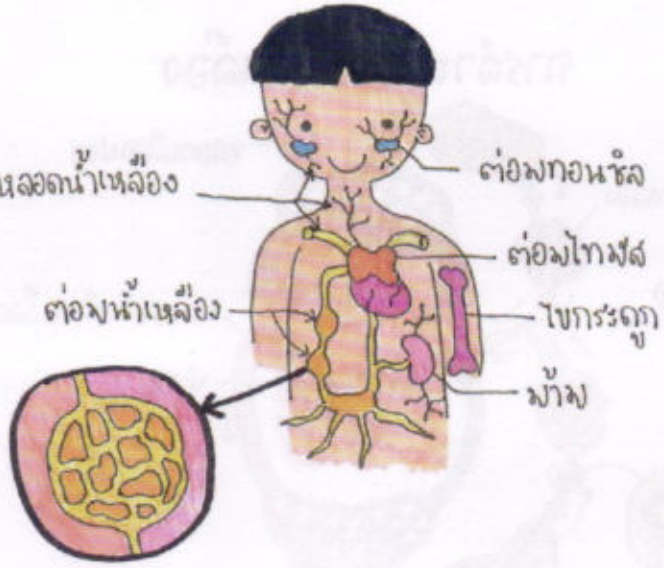
= เม็ดเลือดแดง

= เม็ดเลือดขาว

บทที่ 12
ระบบน้ำเหลือง และระบบภูมิคุ้มกัน

1. ระบบน้ำเหลือง (Lymphatic System)

อวัยวะน้ำเหลือง



ประกอบด้วย

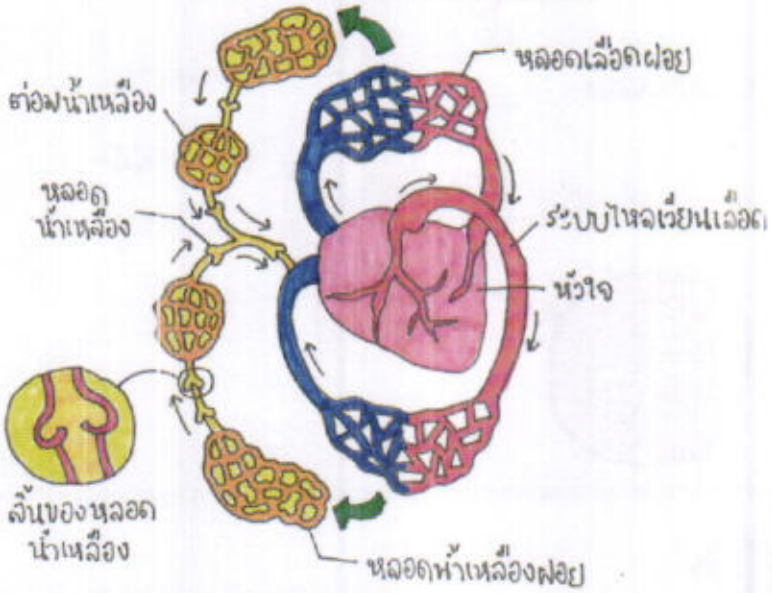
- น้ำเหลือง (Lymph)
  - เป็นของเหลวที่อยู่ระหว่างเซลล์ซึ่งแพร่เข้าไปในหลอดน้ำเหลืองฝอย
  - ลักษณะเป็นสีเหลืองอ่อน มีฤทธิ์เป็นเบส คล้ายน้ำเลือดแต่มีปริมาณโปรตีนน้อยกว่า

- ถือเป็นหนึ่งในระบบไหลเวียนเลือด เพราะอาศัยแรงดันของเลือดเป็นตัวช่วยในการไหลเวียนของน้ำเหลือง
- มีทิศทางการไหลเข้าสู่หัวใจไปตามท่อน้ำเหลือง และจะเข้าไปในหลอดเลือดดำใหญ่เมื่อใกล้หัวใจ
- ทำหน้าที่ต่อต้านและทำลายเชื้อโรคที่เข้ามาในร่างกาย ช่วยเป็นตัวกลางในการลำเลียงสารประเภทไขมัน

○ หลอดน้ำเหลือง (Lymph Vessel)

- มีลักษณะคล้ายหลอดเลือดดำและมีทางเดินขนานกันไปกับหลอดเลือดดำ แต่มีความบางกว่าและมีลิ้นป้องกันการไหลย้อนกลับมากกว่า
- หลอดน้ำเหลืองฝอยซึ่งมีลักษณะเป็นท่อตันและมีขนาดเล็กที่สุด จะมารวมกันเป็นหลอดน้ำเหลืองที่ใหญ่ขึ้น
- ทำหน้าที่ในการลำเลียงน้ำเหลือง โดยระหว่างทางอาจเดินทางผ่านต่อมน้ำเหลือง

การลำเลียงน้ำเหลือง



อวัยวะน้ำเหลือง

- ทำหน้าที่ผลิตเซลล์ซึ่งใช้ในการต่อสู้กับเชื้อโรคและสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย
- ประกอบด้วย

1) ต่อมน้ำเหลือง (Lymph Node)

- มีลักษณะเป็นวงรี คล้ายฟองน้ำ กระจายอยู่เป็นระยะตามทางเดินของท่อน้ำเหลือง เช่น ขาหนีบ และรักแร้
- ภายในมีเนื้อเยื่อน้ำเหลือง (Lymphoid Tissue) และเม็ดเลือดขาวอยู่รวมกันเป็นกระจุก
- ทำหน้าที่กรองและตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในน้ำเหลือง
  - สร้างภูมิคุ้มกันโรคให้กับร่างกายด้วยการสร้างเม็ดเลือดขาวบางชนิด
  - ทำลายเซลล์เม็ดเลือดขาวที่หมดอายุแล้ว
  - สร้างเม็ดเลือดแดงขณะที่มนุษย์ยังอยู่ในครรภ์มารดาแทนไขกระดูก

2) ต่อมทอนซิล (Tonsil)

- ตั้งอยู่ข้างลำคอบริเวณโคนลิ้น ภายในมีเม็ดเลือดขาวไว้ดักจับเชื้อโรค
- มีต่อมทอนซิลอยู่ 3 คู่ที่สำคัญ โดยคู่ที่สำคัญจะอยู่รอบๆ หลอดอาหาร
- ทำหน้าที่ต่อต้านและทำลายเชื้อโรคที่เข้ามาในร่างกายผ่านทางช่องปากหรือจมูก สร้างภูมิคุ้มกันโรคให้กับร่างกายหากเกิดการอักเสบบ่อย ๆ จากที่เคยทำหน้าที่กำจัดเชื้อโรคจะ กลายเป็นแหล่งกักเก็บเชื้อโรคแทน

3) ต่อมไทมัส (Thymus Gland)

- เป็นต่อมน้ำเหลืองชนิดต่อมไร้ท่ออยู่หลังจากกระดูกหน้าอกต่อจากหัวใจ
  - มีความสำคัญโดยเฉพาะตอนที่ยังอยู่ในครรภ์มารดา แต่จะค่อยๆ ฝ่อลงเมื่ออายุมากขึ้น
- ทำหน้าที่ช่วยในการเจริญเติบโตของลิมโฟไซต์ชนิดทีเซลล์ที่อยู่ในระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ช่วยต่อต้านและทำลายเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย

4) ม้าม (Spleen)

- เป็นอวัยวะน้ำเหลืองขนาดใหญ่ที่สุด อยู่ใต้กระบังลมและซี่โครงด้านซ้ายบริเวณหลังช่องท้อง
- ทำหน้าที่
  - ช่วยในการควบคุมปริมาณเลือดในร่างกาย
  - สร้างแอนติบอดีเพื่อต่อต้านและกำจัดเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมในร่างกาย
  - สร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงแทนไขกระดูกขณะที่ยังอยู่ในครรภ์มารดา และสามารถสร้างเพิ่มได้หากจำเป็น นอกจากนี้ยังสามารถทำลายและดูดธาตุเหล็กจากเฮโมโกลบินของเซลล์เม็ดเลือดแดงที่หมดอายุแล้ว

โรคที่เกี่ยวกับระบบน้ำเหลือง

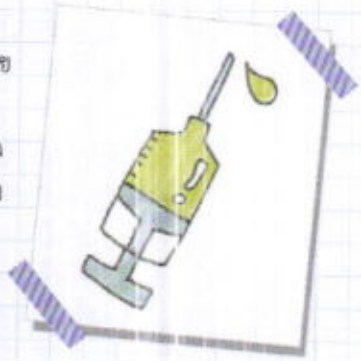
- โรคมะเร็งต่อมน้ำเหลือง (Lymphoma)
  - เป็นมะเร็งที่เนื้อเยื่อต่อมน้ำเหลือง พบได้ทุกเพศทุกวัยและทุกสัญชาติ
  - ไม่มีอาการเฉพาะ แต่ที่พบเป็นส่วนมาก คือ ต่อมน้ำเหลืองโตแต่ไม่เจ็บ ต่อมาอาจอ่อนแรง ปวดหัว ปวดท้อง
  - ยังไม่ทราบสาเหตุที่แน่นอน แต่ปัจจัยเสี่ยงอาจเกิดจากเชื้อไวรัส แบคทีเรีย พันธุกรรม ภูมิแพ้ สิ่งแวดล้อม เป็นต้น
- โรคต่อมน้ำเหลืองโต (Lymphadenopathy)
  - ส่วนใหญ่เกิดจากการติดเชื้อที่เนื้อเยื่อหรืออวัยวะที่ตั้งของต่อมน้ำเหลืองนั้นๆ ต่อมน้ำเหลืองจึงโต ทำให้คลำแล้วเจ็บ
  - สาเหตุอื่นอาจเกิดจากร่างกายมีภูมิคุ้มกันต่ำ เช่น โรคเอดส์ จะทำให้ต่อมน้ำเหลืองโต แต่คลำแล้วไม่ค่อยเจ็บ หากรู้สึกว่าต่อมน้ำเหลืองโตมากกว่า 1 เซนติเมตร พร้อมกับมีอาการอื่นๆ เช่น เบื่ออาหาร และมีไข้ ควรรีบไปพบแพทย์

2. ระบบภูมิคุ้มกัน (Immune System)

เป็นระบบที่ร่างกายสร้างขึ้นสำหรับป้องกันสิ่งแปลกปลอม หรือเชื้อโรคต่างๆ ที่อาจทำอันตรายต่อร่างกาย

ที่มาของภูมิคุ้มกัน แบ่งออกเป็น

- ภูมิคุ้มกันที่สร้างขึ้นเอง (Active Immunization)
  - เป็นการนำวัคซีน (Vaccine) หรือแอนติเจน (Antigen) มากระตุ้นให้ร่างกายสร้างภูมิคุ้มกันขึ้น
  - แอนติเจน (Antigen) หรือ สารก่อภูมิต้านทาน
    - เป็นสิ่งแปลกปลอมที่อ่อนแรงแล้ว และเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะช่วยกระตุ้นให้ร่างกายเกิดภูมิคุ้มกัน
    - สามารถนำมากระตุ้นได้ด้วยการกิน ฉีดหรือทาที่แผล
  - วัคซีน (Vaccine) เป็นสารที่กระตุ้นให้ร่างกายต่อสู้กับเชื้อบางอย่างโดยเฉพาะ แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่



1) ทอกซอยด์ (Toxoid)

- คือการนำพิษของแบคทีเรียมาทำให้หมดความเป็นพิษ แต่ยังนำมาใช้กระตุ้นภูมิคุ้มกันในร่างกายได้
- ปกติหลังฉีดครั้งแรกอาจมีไข้หรืออาการอย่างอื่นเล็กน้อย แต่ถ้าหลายครั้งแล้วอาจมีผลข้างเคียงมากขึ้น
- วัคซีนประเภทนี้ เช่น วัคซีนคอตีบ และวัคซีนบาดทะยัก

2) วัคซีนชนิดที่เชื้อตายแล้ว (Inactivated Vaccine หรือ Killed Vaccine)

- ใช้เชื้อโรคที่ทำให้ตายแล้วมาเป็นตัวกระตุ้นภูมิคุ้มกัน เช่น วัคซีนไข้หวัดใหญ่ วัคซีนไทฟอยด์ และวัคซีนพิษสุนัขบ้า

3) วัคซีนชนิดที่เชื้อยังไม่ตาย (Live Attenuated Vaccine)

- คือการนำเชื้อโรคมาทำให้อ่อนแรง ทำให้มีความรุนแรงน้อยลงจนไม่เป็นอันตรายกับมนุษย์ แต่ต้องระวังอย่างมากถ้าให้วัคซีนชนิดนี้แก่ผู้ป่วยภูมิคุ้มกันบกพร่อง หรือผู้ที่รับสารกดภูมิคุ้มกัน ได้แก่ วัคซีนป้องกันโปลิโอ วัณโรค หัด หัดเยอรมัน และคางทูม เรียกรวมกันว่า วัคซีนรวมเอ็มเอ็มอาร์ (MMR) และวัคซีนป้องกันวัณโรค (BCG)

- ข้อดี คือ หากร่างกายได้รับแล้วสร้างเป็นภูมิคุ้มกันขึ้นมา จะสามารถเป็นภูมิคุ้มกันที่อยู่ได้นาน
- ข้อเสีย คือ อาจต้องใช้เวลาประมาณ 4 – 7 วัน กว่าร่างกายจะตอบสนองต่อภูมิคุ้มกันที่ได้รับ

○ ภูมิคุ้มกันที่รับมาภายหลัง (Passive Immunization)

- เป็นการทำให้ร่างกายได้รับภูมิคุ้มกันทันที ด้วยการฉีดสารที่เป็นแอนติบอดีหรือเซรุ่มเข้าไปโดยตรง
- ใช้สำหรับรักษาโรคบางอย่างที่รุนแรงและเฉียบพลัน เช่น เซรุ่มแก้พิษงู และแก้พิษสุนัขบ้า
- ขั้นตอนการเตรียมแอนติบอดี มีดังนี้
  1) ฉีดเชื้อโรคที่อ่อนแอเข้าไปในร่างกายของสัตว์ เช่น ม้า หรือกระต่าย
  2) ร่างกายของสัตว์จะสร้างแอนติบอดีสำหรับต่อต้านเชื้อโรคนั้นขึ้นมา
  3) จากนั้นจึงได้เลือดของสัตว์ในส่วนที่เป็นเซรุ่ม หรือแอนติบอดี ไว้สำหรับเพื่อการรักษา
- ไม่ควรใช้ในคนท้อง เพราะอาจเกิดอันตรายกับเด็กในท้องที่ระบบภูมิต้านทานยังไม่ดีพอ
- เด็กในท้องสามารถรับภูมิคุ้มกันจากแม่ผ่านทางรก และเมื่อเกิดมาแล้วจะได้รับแอนติบอดีจากน้ำนมแม่
- ข้อดี คือ ทำให้ผู้ป่วยรอดจากอันตรายได้ทันการณ์ เพราะจะได้รับภูมิคุ้มกันทันที
- ข้อเสีย คือ ไม่สามารถคุ้มกันร่างกายได้นานและอาจเกิดอาการแพ้ในผู้ป่วยบางราย

กลไกการต่อต้านสิ่งแปลกปลอม แบ่งออกเป็น

- แบบไม่จำเพาะ (Nonspecific Defense)
  - จะต่อต้านและกำจัดเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาแบบไม่จำเพาะเจาะจง
  - มีความสามารถในการป้องกันและทำลายเชื้อโรคได้เพียงระดับหนึ่ง

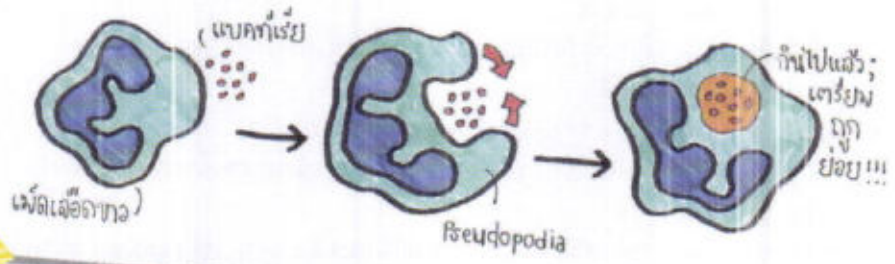
    แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่

    1) ส่วนแรก : กลไกภายนอกร่างกาย

    เช่น ผิวหนัง เมือก ขนอ่อน (Cilia) ต่อมเหงื่อ ต่อมน้ำตา กรดในกระเพาะอาหาร

    2) ส่วนที่สอง : กลไกภายในร่างกาย

    เช่น กระบวนการฟาโกไซโตซิส (Phagocytosis) จะทำให้เกิดการอักเสบ (Inflammatory) จากการที่เม็ดเลือดขาวเข้าไปจับกินเชื้อโรคและสลายตัวเองไปพร้อมกันจนเกิดเป็นหนอง



- แบบจำเพาะ (Specific Defense)
  - จะต่อต้านและกำจัดเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาแบบเฉพาะกับชนิดของเชื้อโรค เมื่อร่างกายติดเชื้อโรคนั้นหรือได้รับวัคซีนของเชื้อชนิดนั้นๆ ร่างกายจะผลิตแอนติบอดีมาต่อต้าน
  - โดยจะทำงานร่วมกับเม็ดเลือดขาว ชนิดลิมโฟไซต์ ได้แก่

    1) เซลล์บี (B-Cell) ที่จะแบ่งตัวออกเป็น
    - เซลล์พลาสมา (Plasma Cell) คือเซลล์ที่สร้างแอนติบอดีจำเพาะไว้ทำลายแอนติเจนนั้นๆ
    - เซลล์เมมโมรี่ (Memory Cell) เป็นเซลล์ที่เตรียมพร้อมไว้เวลาที่มีแอนติเจนเดิมเข้ามาจะเกิดกระตุ้นให้แบ่งตัวเป็นเซลล์พลาสมาออกมาต่อสู้ได้ทันเวลา คือมีภูมิคุ้มกัน

2) **เซลล์ที (T-Cell)** แบ่งเป็น 2 หน่วย ได้แก่

- **เซลล์ทีผู้ช่วย (Helper T-Cell หรือ CD4+)** เป็นเซลล์ที่คอยเฝ้าระวังและชี้เป้าเชื้อโรคที่เข้าสู่ร่างกายและส่งข่าวให้เซลล์บีและเซลล์เม็ดเลือดขาวอื่นๆ มากำจัด
  - จุดอ่อน คือ สามารถถูกไวรัสเอชไอวี (HIV) ทำลายได้ง่าย จนทำให้ร่างกายขาดภูมิคุ้มกันในที่สุด
- **เซลล์ทีที่ทำลายเซลล์แปลกปลอม (Cytotoxic T-Cell หรือ CD8+)** เป็นเซลล์ที่คอยจำว่าเซลล์ไหนคือเซลล์ดี หรือเซลล์ไหนกำลังจะกลายพันธุ์ (เซลล์มะเร็ง) หรือเซลล์ร่างกายที่ติดเชื้อก็จะจัดการได้ทันเวลา
  - จุดอ่อน คือ ต้องอาศัยเซลล์ทีผู้ช่วยในการทำงานเสมอ เมื่อติดเชื้อเอชไอวีร่างกายจึงป่วยง่าย

ภาวะที่ระบบภูมิคุ้มกันผิดปกติ

โรคภูมิแพ้ (Allergy)

- พบได้บ่อยกับคนทุกเพศทุกวัยโดยเฉพาะในเด็ก ในประเทศไทยส่วนมากจะพบว่าเป็นโรคภูมิแพ้ทางจมูก
- สาเหตุอาจเกิดจากพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลให้เกิดอาการแพ้ เช่น ควัน ฝุ่น และสัตว์เลี้ยง
- หากป่วยเป็นภูมิแพ้ควรหลีกเลี่ยงสิ่งที่แพ้ ใช้ยาตามการแนะนำของแพทย์ พักผ่อน และออกกำลังกาย

โรคเอสแอลอี (Systemic Lupus Erythematosus หรือ SLE) หรือ โรคลูปัส (Lupus)

- เป็นโรคภูมิแพ้ตัวเองอย่างหนึ่งทำให้ร่างกายมีระบบภูมิต้านทานที่ผิดปกติ พบไม่บ่อยนักแต่ก็พบได้เรื่อยๆ
- จัดเป็นโรคเรื้อรัง ทำให้มีอาการอักเสบตามข้อ กล้ามเนื้อ ผิวหนัง ระบบเลือด และระบบประสาท เป็นต้น
- ปัจจุบันยังหาสาเหตุชัดเจนไม่ได้ แต่เชื่อว่าเป็นความผิดปกติทางพันธุกรรม และปัจจัยเสี่ยงอื่นๆ

โรคเอดส์ (AIDS)

- เป็นโรคที่เริ่มต้นจากการติดเชื้อไวรัสเอชไอวี (HIV) มาถึงระยะที่ 3 จึงทำให้ติดเชื้อจากโรคฉวยโอกาสในที่สุด
- สามารถติดต่อได้ผ่านเลือดและสารคัดหลั่ง เช่น น้ำเมือก และน้ำอสุจิ แต่ไม่สามารถติดต่อผ่านทางการกัดของยุง
- ปัจจุบันยังรักษาให้หายขาดไม่ได้ แต่ผู้ติดเชื้อก็สามารถมีชีวิตอยู่ได้นาน หากดูแลตัวเองและทานยาต่อเนื่อง

บทที่ 13
ระบบขับถ่ายและการรักษาสมดุลภายในร่างกาย

1. ภาพรวม

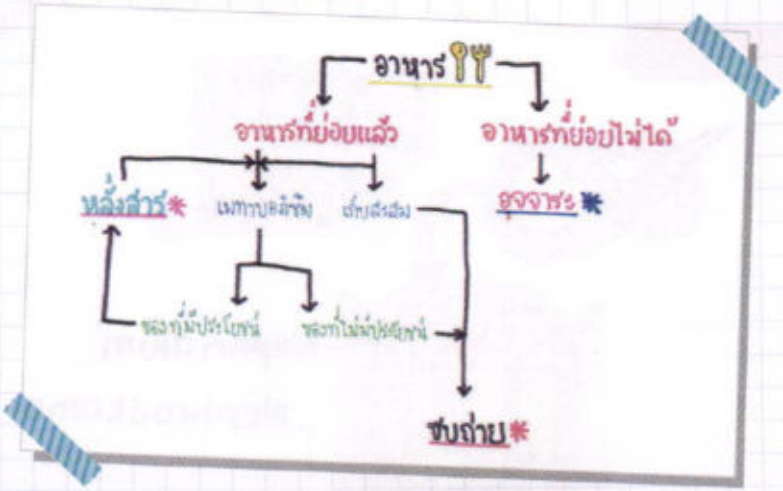
เป็นการกำจัดของเสีย ที่เกิดจากการกระบวนการใช้พลังงานเพื่อเผาผลาญในร่างกาย หรือเมตาบอลิซึม (Metabolism) โดยของเสียในร่างกาย เช่น

1) น้ำ เกลือแร่ และก๊าซไฮโดรเจนที่เกินความจำเป็น
2) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)
3) ของเสียที่มีสารประกอบเป็นไนโตรเจน (Nitrogenous waste หรือ N-waste) ได้แก่

- แอมโมเนีย (Ammonia หรือ NH_3)
  - มีความเป็นพิษสูง ถ้าเข้มข้นมากเกินไปอาจเป็นอันตราย
  - ละลายน้ำได้ดี ทำให้ต้องใช้น้ำเยอะมากในการกำจัดแอมโมเนียออกจากร่างกาย
  - การกำจัดจะถูกกำจัดออกในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+)
  - ส่วนใหญ่พบในสัตว์น้ำและปลาเกือบทั้งหมด
  - แต่มีสัตว์บางชนิดที่เปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นยูเรียหรือกรดยูริกแล้วจึงกำจัดออก
- ยูเรีย (Urea)
  - มีความเป็นพิษรองลงมา ละลายในน้ำได้ดี ทำให้ถูกกำจัดออกมาพร้อมกับน้ำปัสสาวะ
  - พบในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม สัตว์กระดูกอ่อน สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ ปลากระดูกแข็งบางชนิด และฉลาม
- กรดยูริก (Uric Acid)
  - เป็นของเสียที่สามารถถูกกำจัดออกจากร่างกายได้โดยสูญเสียน้ำน้อยที่สุด
  - จะถูกกำจัดออกมาพร้อมกับกากอาหารในสภาพกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Semisolid)
  - พบในนก สัตว์เลื้อยคลาน แมลง หอยที่อยู่บนบก

การขับถ่ายแตกต่างจากกระบวนการ ดังต่อไปนี้

- การหลั่งสาร (Secretion)
  - เพราะเป็นการขับสารที่เป็นประโยชน์ของร่างกายออกมา จึงไม่จัดเป็นของเสีย
- การถ่ายอุจจาระ (Defecation)
  - เพราะกากอาหารไม่ใช่ของเสียที่เกิดจากกระบวนการใช้พลังงานเพื่อเผาผลาญในร่างกาย



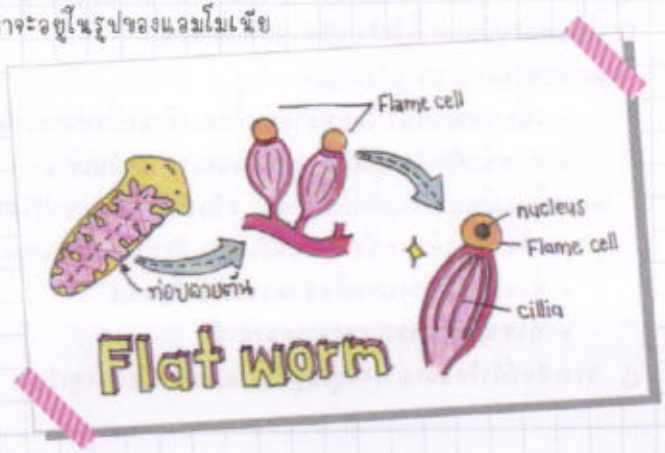
2. การขับถ่ายของสัตว์ เช่น

ฟองน้ำและไฮดรา

- ไม่มีอวัยวะขับถ่าย แต่สามารถแพร่ของเสียสู่สิ่งแวดล้อมได้ตลอด
  - เพราะทุกเซลล์ในร่างกายสัมผัสกับน้ำโดยตรง
- ของเสียที่กำจัดออกมาจะอยู่ในรูปของแอมโมเนีย

หนอนตัวแบน

เช่น พลานาเรีย



- มีระบบขับถ่ายของเสียที่ประกอบด้วย
  - ท่อปลายตัน สานเป็นตาข่ายอยู่ทั่วทั้งสองข้างตามความยาวของร่างกาย
  - เฟลมเซลล์ (Flame Cell) เป็นเซลล์ที่หุ้มอยู่ตรงปลายของท่อปลายตัน มีซีเลียคลอยพัดโบกทำให้ของเหลวไปที่ท่อรับของเหลว ส่วนของเสียออกจากร่างกายบริเวณช่องเปิดที่ผนังลำตัว
- ของเสียที่กำจัดออกมาจะอยู่ในรูปของแอมโมเนีย

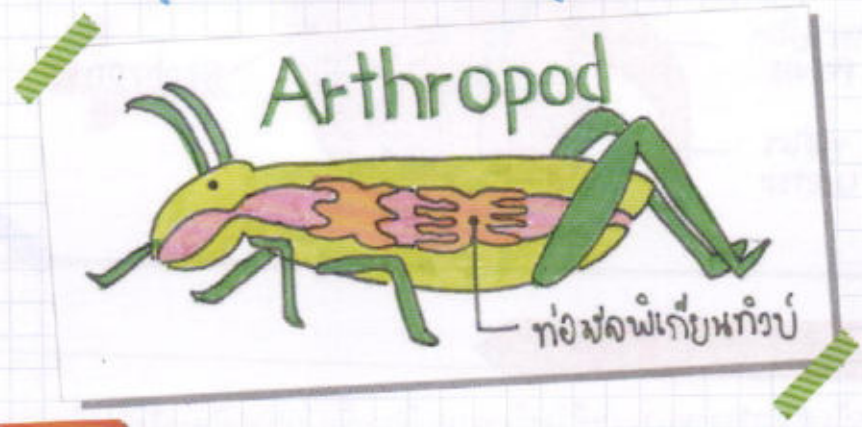
ไส้เดือนดิน

- มีลำตัวเป็นปล้อง แต่ละปล้องของไส้เดือนดินจะมีอวัยวะสำหรับขับถ่ายเป็นของตัวเอง
- ในแต่ละปล้องของไส้เดือนดิน ประกอบด้วย
  - เนฟริเดียม (Nephridium) 1 คู่
    - เป็นท่อขดไปมา โดยปลายท่อทั้งสองด้านเป็นปลายเปิด
    - ทำหน้าที่กำจัดของเสีย ดูดน้ำและแร่ธาตุกลับเข้ามา
  - เนโฟรสโตม (Nephrostome) หรือปากท่อของเนฟริเดียม
    - เป็นปลายด้านหนึ่งของเนฟริเดียม มีรูปร่างคล้ายปากแตรและมีซีเลียล้อมรอบ
    - ตั้งอยู่ในช่องว่างภายในลำตัวของไส้เดือนดิน
    - ทำหน้าที่รับของเหลวจากช่องลำตัว
- ของเสียที่กำจัดออกมาจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียและยูเรีย

แมลง กิ้งกือ และตะขาบ

- ท่อมัลพิเกียนทิวบ์ (Malpighian Tubu) เป็นอวัยวะขับถ่ายที่สำคัญของแมลง
  - ประกอบด้วยท่อที่มีขนาดเล็กจำนวนมากยื่นออกมาจากทางเดินอาหารตรงรอยต่อของกระเพาะอาหารกับลำไส้
  - โดยส่วนปลายของท่อมัลพิเกียนจะลอยอยู่ในช่องว่างลำตัว เพราะแมลงมีระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิด
- ในระบบขับถ่ายของแมลง น้ำและของเสียที่ปนอยู่ในเลือดจะถูกส่งเข้าไปทางท่อมัลพิเกียนที่จะส่งต่อไปให้ลำไส้ ผลที่ได้ คือ
  - สารที่มีประโยชน์จะถูกดูดกลับเข้าสู่กระแสเลือด
  - ส่วนของเสียที่มีส่วนประกอบเป็นไนโตรเจนจะกลายเป็นกรดยูริกและถูกกำจัดพร้อมกับกากอาหาร

    กรดยูริกที่ออกมานั้นมีลักษณะเป็นผลึก คือจะอยู่ในสภาพกึ่งแข็งกึ่งเหลว



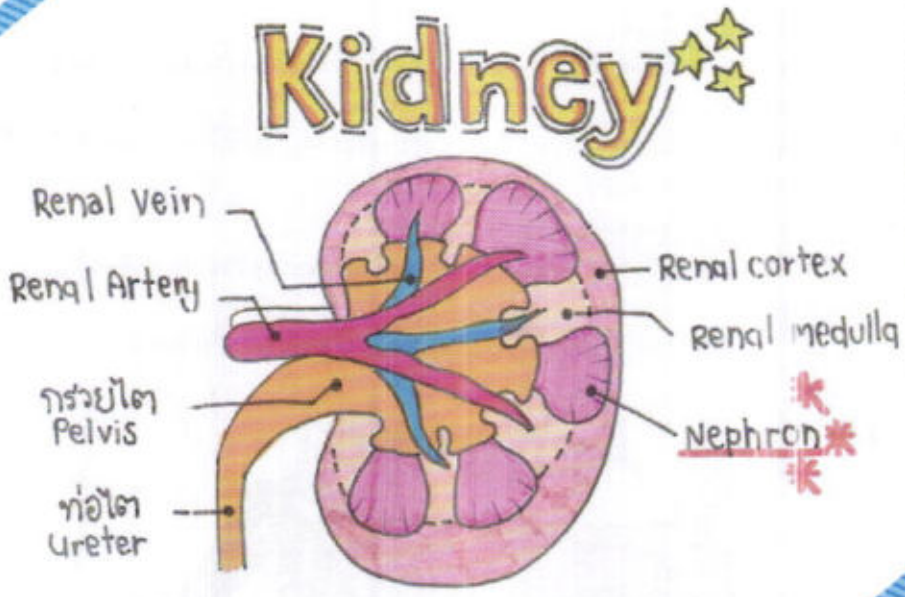
กุ้ง

- ต่อมแอนเทนนัล (Antennal Gland) หรือต่อมเขียว (Green Gland) เป็นอวัยวะขับถ่ายที่สำคัญของกุ้ง
  - มี 1 คู่ สีเขียวคล้ำอยู่บริเวณหัว ที่ฐานของหนวดบนปากเล็กน้อย
  - ทำหน้าที่กรองของเสียออกจากเลือด โดยเฉพาะของเสียที่มีสารประกอบไนโตรเจน
- ของเสียที่กำจัดออกมาจะอยู่ในรูปของแอมโมเนีย และถูกกำจัดออกทางช่องเปิดบริเวณโคนหนวด

นกและสัตว์เลื้อยคลาน

- ส่วนใหญ่มีโครงสร้างร่างกายสำหรับป้องกันการสูญเสียน้ำ เช่น มีไต มีขนหรือเกล็ดคลุมตัว และมีผิวหนังที่หนา
- การกำจัดของเสียทำได้ด้วยการเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นผลึกของกรดยูริกคล้ายที่พบในแมลง เพราะกระบวนการนี้สูญเสียน้ำน้อยกว่ามาก

3. การขับถ่ายของมนุษย์



โครงสร้างและลักษณะสำคัญของไต

- ไตเป็นอวัยวะขับถ่ายของมนุษย์ โดยไตของมนุษย์มีสองข้าง รูปร่างคล้ายเมล็ดถั่ว
- ไตแต่ละข้างจะมีหน่วยไต (Nephron) เป็นจุดสีแดงจำนวนมาก ทำหน้าที่กรองของเสีย
- เส้นเลือดสำคัญที่เกี่ยวข้องกับไต ได้แก่
  - เส้นเลือดรีนัลอาร์เตอรี (Renal Artery) >> เป็นเส้นเลือดแดง
    >> แยกมาจากเส้นเลือดแดงเอออร์ตา (Aorta) อีกทีหนึ่ง
  - เส้นเลือดรีนัลเวน (Renal Vein) >> เป็นเส้นเลือดดำ
    >> ทำหน้าที่นำเลือดดำจากไตออกสู่เส้นเลือดดำอินฟีเรีย เวนาคาวา (Inferior Vena Cava)
- หากผ่าไตออกตามยาวจะพบเนื้อเยื่อ 2 ชั้น ได้แก่
  - คอร์เทกซ์ (Cortex) >> เป็นบริเวณส่วนนอกของไต
  - เมดัลลา (Medulla) >> เป็นบริเวณส่วนในของไต มีลักษณะปลายที่ยื่นเข้าไปใกล้กับกรวยไต (Pelvis)

- ส่วนที่ต่อออกจากไต ได้แก่
  - กรวยไต (Pelvis)
  - ท่อไต (Ureter)
  - กระเพาะปัสสาวะ (Urinary Bladder)
  - ท่อปัสสาวะ (Urethra)

การทำงานของหน่วยไต (Nephron)

- เป็นหน่วยทำงานที่เล็กที่สุดของไต มีประมาณ 1 ล้านหน่วย
- ทำหน้าที่กรองของเสียออกจากเลือดและกำจัดออกทางปัสสาวะ รวมถึงดูดกลับสารที่มีประโยชน์
- หน่วยไต ประกอบด้วย

1) โบว์แมนส์แคปซูล (Bowman's capsule)
   - มีลักษณะเป็นกระเปาะรูปถ้วย
   - อยู่บริเวณข้างหนึ่งของท่อหน่วยไต และล้อมรอบโกลเมอรูลัสอยู่

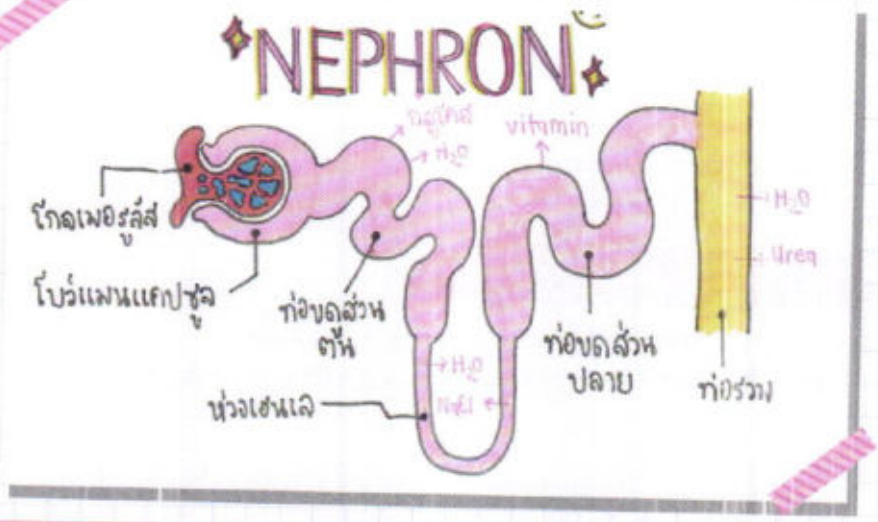
2) โกลเมอรูลัส (Glomerulus)
   - เป็นกลุ่มของหลอดเลือดฝอยที่แตกแขนงมาจากเส้นเลือดรีนัลอาร์เตอรี
   - นั่นอยู่โดยรอบท่อหน่วยไตและผนังหลอดเลือดฝอยติดกับโบว์แมนส์แคปซูล
   - ทำหน้าที่กรองของเสียออกจากเลือด และนำเลือดที่กรองแล้วออกจากไตทางเส้นเลือดรีนัลเวน

3) ท่อหน่วยไต (Convoluted Tubule หรือ Renal Tubule) เป็นท่อที่ออกมาจากโบว์แมนส์แคปซูล แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

   1) ท่อขดส่วนต้น (Proximal Convolute Tubule)
      >> ทำหน้าที่ดูดกลับน้ำและสารที่มีประโยชน์ได้มากถึงประมาณร้อยละ 80

   2) ห่วงเฮนเล (Loop of Henle)
      >> มีรูปร่างคล้ายตัว U มีผนังบางที่สุด ทำหน้าที่ดูดกลับน้ำและสารที่มีประโยชน์เช่นกัน

   3) ท่อขดส่วนปลาย (Distal Convoluted Tubule)
      >> ทำหน้าที่ดูดกลับน้ำและสารที่มีประโยชน์ ทำงานตามคำสั่งของฮอร์โมนแอนติไดยูเรติก (ADH)
      >> ปลายของท่อขดส่วนปลายจากแต่ละหน่วยไตจะถูกนำไปรวมอยู่ที่ท่อรวม (Collecting Tubule)
      - ท่อรวม (Collecting Tubule)
        - เป็นท่อที่รวมท่อขดส่วนปลายหลายๆ อันเป็นท่อเดียว
        - เมื่อออกไปที่กรวยไตและท่อไตต่อไป



กระบวนการเกิดปัสสาวะจากหน่วยไต

มี 3 ขั้นตอน ได้แก่

- การกรองที่โกลเมอรูลัส (Glomerulus Filtration)
  - ผนังของโกลเมอรูลัสสามารถยอมให้เฉพาะสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กเท่านั้นที่จะผ่านไปพร้อมกับน้ำได้
    - สารที่ผ่านเข้าไปได้ เช่น เกลือแร่ ยูเรีย กลูโคส และวิตามิน
    - สารที่ผ่านเข้าไปไม่ได้ เช่น เซลล์เม็ดเลือด ไขมัน และโปรตีนโมเลกุลใหญ่
      >> สารและน้ำที่กรองได้จะผ่านเข้าไปที่โบว์แมนส์แคปซูล และเข้าไปที่ท่อของหน่วยไตต่อไป
  - ความสามารถในการกรองของโกลเมอรูลัสจะขึ้นอยู่กับแรงดันเลือดและผนังเส้นเลือดฝอย
    - ถ้ามีแรงดันเลือดมากจะกรองได้มาก ปกติจะได้ประมาณ 180 ลิตรต่อวัน
    - ถ้าแรงดันเลือดต่ำจะกรองได้น้อย เช่น ผู้เป็นโรคความดันโลหิตต่ำ และโรคนิ่วในไต ซึ่งจะทำให้ปัสสาวะติดขัด
- การดูดกลับที่ท่อหน่วยไต (Tubular Reabsorption)
  - สารและน้ำที่กรองผ่านเข้ามาถึงท่อหน่วยไตบางชนิดมีประโยชน์ต่อร่างกาย
    - ร่างกายจึงต้องการดูดกลับสารที่มีประโยชน์กลับสู่กระแสเลือดอีกครั้ง
  - กระบวนการที่ใช้ในการดูดกลับสารเข้าสู่กระแสเลือด มีทั้ง
    - แบบใช้พลังงาน (Active Transport) >> ใช้ในการดูดกลับน้ำ กรดอะมิโน และกลูโคส เป็นต้น

- แบบไม่ใช้พลังงาน (Passive Transport) >> ใช้ในการดูดกลับแร่ธาตุต่างๆ

— สุดท้ายแล้วสารที่ไม่ได้ดูดกลับจะถูกขับออกไปพร้อมปัสสาวะ เช่น ยูเรีย และสารอื่นๆ ที่ดูดกลับไม่ได้

มีข้อสังเกตว่าเลือดที่ออกจากไตจะเป็นเลือดที่มีของเสียปนอยู่น้อยกว่าเลือดที่เข้าสู่ไต

○ การหลั่งสารที่ท่อหน่วยไต (Tubular Secretion)

— เพื่อปรับสมดุลของค่าความเป็นกรด-เบสในร่างกาย และเพิ่มความสามารถในการดูดกลับสาร

— ตัวอย่างของสารที่หลั่งเข้าไปในของเหลวที่กรองออกมา เช่น

- ไฮโดรเจนไอออน (H^+) โพแทสเซียมไอออน (K^+) กรดยูริก ก้วนิดีน และฮิสตามีน

ฮอร์โมนที่ควบคุมกระบวนการดูดกลับของสาร ได้แก่

○ ฮอร์โมนแอนติไดยูเรติก (Antidiuretic Hormone หรือ ADH) หรือ วาโซเพรสซิน (Vasopressin)

— ปริมาณความเข้มข้นของเลือดจะเป็นตัวควบคุมการหลั่งของฮอร์โมน ADH อีกทีหนึ่ง

- ถ้าความเข้มข้นของเลือดสูง ร่างกายมีน้ำน้อยเกินไป
  - >> ฮอร์โมน ADH จะหลั่งออกมามากกว่าปกติ
  - >> ท่อขดส่วนปลายและท่อรวมขยายออกเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดกลับ
- ถ้าความเข้มข้นของเลือดต่ำ ร่างกายมีน้ำมากเกินไป
  - >> ฮอร์โมน ADH จะหลั่งออกมาน้อยกว่าปกติ
  - >> ท่อขดส่วนปลายและท่อรวมดูดซึมน้อยลง มีน้ำมากขึ้น ปัสสาวะบ่อยขึ้น
  - >> แต่ถ้าหลั่งน้อยเกินไปจะทำให้เป็นโรคเบาจืด

○ ฮอร์โมนแอลโดสเตอโรน (Aldosterone)

— ควบคุมการดูดกลับของน้ำและแร่ธาตุโซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) และฟอสเฟต (P)

- ถ้าร่างกายมีน้ำและแร่ธาตุมากเกินไป
  - >> เกิดการกระตุ้นให้ฮอร์โมนแอลโดสเตอโรนหลั่งมากขึ้น
- ถ้าร่างกายมีน้ำและแร่ธาตุน้อยเกินไป
  - >> เกิดการกระตุ้นให้ฮอร์โมนแอลโดสเตอโรนหลั่งออกมาน้อยลง
  - >> แต่ถ้าหลั่งน้อยเกินไปจะทำให้เป็นโรคเบาเค็ม

— ถ้าขาดไปจะทำให้ร่างกายขับน้ำและแร่ธาตุออกไปพร้อมปัสสาวะเป็นปริมาณมาก ซึ่งอาจทำให้ถึงแก่ชีวิตได้

ปัสสาวะและการถ่ายปัสสาวะ

○ น้ำปัสสาวะ

— ในวันหนึ่งร่างกายจะขับปัสสาวะออกมาประมาณ 1 – 1.5 ลิตร

- แต่ถ้าวันไหนร้อนมากๆ อาจมีการขับปัสสาวะออกมาถึง 2 – 3 ลิตร
- น้ำปัสสาวะของมนุษย์ปกติมีสีเหลืองใส มีน้ำประมาณร้อยละ 95 ส่วนร้อยละ 5 ที่เหลือจะเป็นยูเรีย และสารอื่นๆ
- น้ำปัสสาวะมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนๆ แต่ถ้าตั้งทิ้งไว้จะกลายเป็นเบส เพราะยูเรียจะกลายเป็นแอมโมเนีย

○ การถ่ายปัสสาวะ

– การเดินทางของน้ำปัสสาวะ เริ่มจาก

>> ท่อหน่วยไต >> กรวยไต >> ท่อไตทั้ง 2 ข้าง >> กระเพาะปัสสาวะ

→ ผนังท่อไตจะขับแบบเป็นจังหวะ (แบบเพอริสตัลซิส)

>> เพื่อให้น้ำปัสสาวะเข้าไปในกระเพาะปัสสาวะ

– กระเพาะปัสสาวะ

- เป็นถุงกลวง ที่สามารถยืดหยุ่นได้มาก
- บรรจุปัสสาวะได้ประมาณ 700 – 800 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- ปกติแล้วมนุษย์จะเริ่มปวดปัสสาวะเมื่อมีน้ำปัสสาวะอยู่ประมาณ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- ในเด็กแรกเกิดและเด็กเล็ก ระบบประสาทอัตโนวัติจะควบคุมการขับถ่ายปัสสาวะ ทำให้เด็กไม่สามารถควบคุมการขับถ่ายปัสสาวะได้

– สรุปกระบวนการขับถ่ายปัสสาวะ ดังนี้

1) เมื่อมีน้ำปัสสาวะในกระเพาะปัสสาวะปริมาณมาก ผนังกระเพาะปัสสาวะจะขยายตัวออก
2) เกิดกระแสประสาทจากหน่วยรับความรู้สึกของระบบประสาทพาราซิมพาเทติกที่กระเพาะปัสสาวะ
3) กระแสประสาทที่เกิดขึ้น จะถูกส่งไปยังเซลล์ประสาทประสานงานที่ไขสันหลังสู่เซลล์ประสาทในก้านสมองและเซลล์ประสาทที่ซีรีบรัลคอร์เท็กซ์
4) เซลล์ประสาทที่ซีรีบรัลคอร์เท็กซ์ แปลผลว่าควรจะถ่ายปัสสาวะได้แล้ว
5) เซลล์ประสาทที่ซีรีบรัลคอร์เท็กซ์ จะส่งกระแสประสาทกลับไปยังเซลล์ประสาทในก้านสมอง
6) เซลล์ประสาทในก้านสมองจะไปสั่งการให้
   - กล้ามเนื้อเรียบที่กระเพาะปัสสาวะบีบตัว
   - กล้ามเนื้อหูรูดที่กระเพาะปัสสาวะคลายตัว
   - กล้ามเนื้อหูรูดที่ปลายท่อปัสสาวะคลายตัว
7) น้ำปัสสาวะถูกขับออกมาทางกระเพาะปัสสาวะ

การรักษาสมดุลของน้ำ และสารต่างๆ ด้วยไต

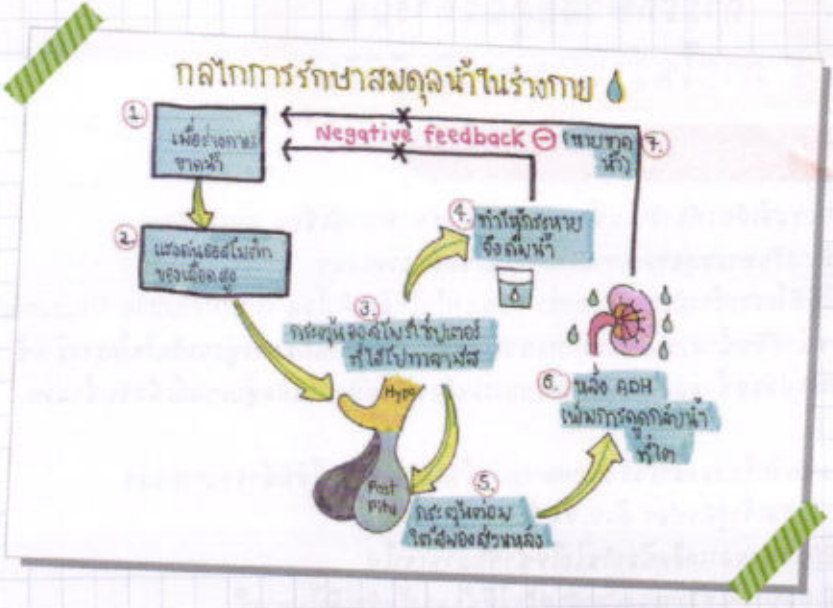
- ไตมีการดูดน้ำและสารต่างๆ กลับมากกว่าร้อยละ 99 ของของเหลวทั้งหมดที่นำมากรอง
- สรุปกลไกการรักษาสมดุลของน้ำในร่างกาย ดังนี้

– กรณีร่างกายขาดน้ำ

1) แรงดันออสโมติกในเลือดจะสูงมากกว่าปกติ ความเข้มข้นในเลือดสูง ทำให้เรากระหายน้ำมาก
2) ส่งผลให้สมองส่วนไฮโปธาลามัสสั่งการไปกระตุ้นปลายประสาทของต่อมใต้สมองส่วนหลัง
   - หลั่งฮอร์โมน ADH มากขึ้น
3) เกิดการดูดน้ำกลับที่ท่อขดส่วนปลายมากขึ้น ปริมาณน้ำในเลือดจึงสูงขึ้น
4) เมื่อแรงดันออสโมติกในเลือดลดลงมากกว่าปกติ ฮอร์โมน ADH จะถูกสั่งให้หยุดหลั่ง และเราจะหยุดกระหายน้ำ

– กรณีร่างกายมีน้ำมาก

1) แรงดันออสโมติกในเลือดจะต่ำกว่าปกติ ความเข้มข้นในเลือดต่ำ
2) ส่งผลให้สมองส่วนไฮโปธาลามัสสั่งการไปกระตุ้นปลายประสาทของต่อมใต้สมองส่วนหลัง
   - ยับยั้งการหลั่งฮอร์โมน ADH
3) ทำให้หยุดการดูดน้ำกลับที่ท่อขดส่วนปลาย ปริมาณน้ำในเลือดสมดุลและปัสสาวะออกมาเป็นสีจาง
4) สุดท้ายแรงดันออสโมติกในเลือดจะกลับมาเป็นปกติอีกครั้ง



ภาวะความผิดปกติที่เกี่ยวกับระบบขับถ่าย

- กระเพาะปัสสาวะอักเสบ
  - เกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรียที่กระเพาะปัสสาวะ โดยเฉพาะเชื้ออีโคไล (E. coli)
  - ส่วนใหญ่พบในผู้หญิงเพราะท่อปัสสาวะของผู้หญิงสั้น ปากท่อใกล้กับช่องคลอดและทวารหนัก
  - ทำให้เกิดอาการปัสสาวะบ่อย แสบ และมีเลือด ถ้าไม่รักษาอาจทำให้เป็นโรคกรวยไตหรือไตอักเสบ
- นิ่ว
  - พบทั้งนิ่วในไต ท่อไต และกระเพาะปัสสาวะ ทำให้การปัสสาวะผิดปกติ เช่น กลั้นไม่อยู่และติดขัด
  - ส่วนใหญ่เกิดจากแร่ธาตุที่อยู่ในปัสสาวะรวมตัวกันเป็นก้อน หรืออาจเกิดจากการกำจัดแร่ธาตุออกมามากไป
  - รักษาด้วยการใช้ยา สลายนิ่วด้วยอัลตราซาวนด์ หรือผ่าตัด รวมถึงทานอาหารจำพวกโปรตีน
- โรคไตวาย
  - เป็นภาวะที่ไตไม่ทำงาน ส่งผลให้มีของเสียในเลือดและการรักษาสมดุลของร่างกายผิดปกติ
  - อาจเกิดจากการติดเชื้อ นิ่วอุดตัน หรือการป่วยด้วยโรคเรื้อรังบางชนิด เช่น เบาหวาน
  - สามารถรักษาด้วยการฟอกไตหรือเปลี่ยนไต ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมนุษย์สามารถมีชีวิตอยู่ได้ด้วยไตข้างเดียว

4. การรักษาสมดุลอย่างอื่นภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต

การรักษาสมดุลของน้ำและเกลือแร่

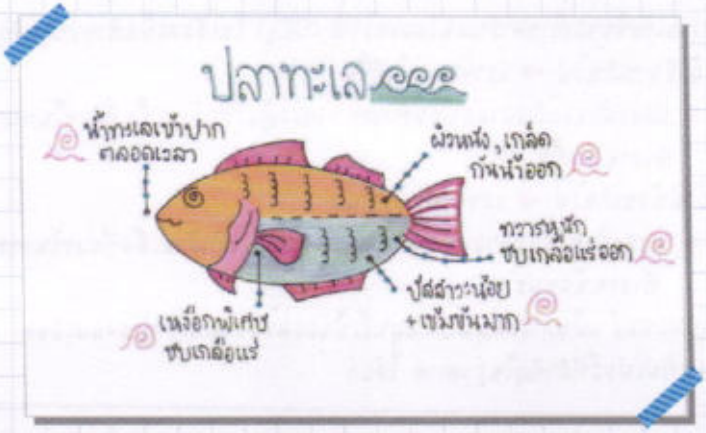
- สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่อาศัยในน้ำตลอดเวลา เช่น พารามีเซียม และอะมีบา
  - จะมีการรักษาสมดุลของความเข้มข้นในเซลล์ตลอดเวลา
  - ทำให้มีโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่า คอนแทร็กไทล์แวคิวโอล (Contractile Vacuole) ทำหน้าที่ขับน้ำส่วนเกินออกจากเซลล์ โดยการนำน้ำที่เกินมาอยู่รวมกันในโครงสร้างนี้ และจะปล่อยน้ำออกนอกเซลล์ด้วยการเคลื่อนที่ไปติดกับเยื่อหุ้มเซลล์เพื่อขับน้ำออก
- ปลาน้ำจืด
  - มีความเข้มข้นของน้ำในร่างกายมากกว่าน้ำภายนอก ทำให้มีน้ำจากภายนอกออสโมซิสเข้าสู่ตัวปลา ด้วยเหตุนี้ ปลาน้ำจืดจึงต้อง
    - มีผิวหนังและเกล็ดป้องกันไม่ให้น้ำซึมผ่านเข้าไป
    - มีเยื่อบางที่เหงือกของปลาสำหรับให้น้ำออสโมซิสเข้าไปทางนี้

- มีการขับปัสสาวะบ่อยครั้ง โดยที่น้ำปัสสาวะนั้นเจือจาง
- มีเซลล์แบบพิเศษบริเวณเหงือกสำหรับดูดสารที่มีประโยชน์กลับสู่ร่างกาย
  >> ด้วยการลำเลียงแบบใช้พลังงาน (Active Transport)

○ ปลาทะเล หรือ ปลาน้ำเค็ม

— มีความเข้มข้นของน้ำในร่างกายมากกว่าน้ำภายนอก ทำให้มีเกลือแร่จากน้ำทะเลเข้าสู่ตัวปลา ด้วยเหตุนี้ปลาทะเลจึงต้อง

- มีผิวหนังและเกล็ดป้องกันไม่ให้น้ำซึมออกจากร่างกาย และป้องกันไม่ให้เกลือแร่จากน้ำทะเลซึมเข้า
- มีการขับปัสสาวะน้อย โดยปัสสาวะมีความเข้มข้นสูง
- มีการขับเกลือแร่ที่เกินความจำเป็นออกทางทวารหนัก
- มีเซลล์แบบพิเศษที่เหงือกสำหรับขับเกลือแร่ที่เกินความจำเป็นออกจากร่างกาย
  >> ด้วยการลำเลียงแบบใช้พลังงาน (Active Transport)



○ นกทะเลและเต่าทะเล

— หากินตามทะเลทำให้ได้รับเกลือแร่มากเกินความจำเป็น ดังนั้นนกทะเลและเต่าทะเลจึงต้อง

• มีอวัยวะพิเศษที่มักอยู่ตรงหัว หรือมีรูจมูก (เฉพาะในนกทะเล) สำหรับขับเกลือแร่พวกนี้ออกไป

>> เรียกว่า ต่อมนาสิก (Nasal Gland) หรือต่อมเกลือ (Salt Gland)

○ สัตว์ทะเลชนิดอื่นๆ

— มีความเข้มข้นของน้ำในร่างกายพอๆ กับในน้ำทะเล ทำให้ไม่ต้องมีกลไกอะไรเป็นพิเศษ

การรักษาสมดุลของค่าความเป็นกรด-เบส

มีด้วยกัน 3 วิธี ได้แก่

1) การเพิ่ม-ลดอัตราการหายใจ

* เป็นวิธีที่ช่วยควบคุมความเป็นกรด-เบสในร่างกายได้ประมาณร้อยละ 50 – 70 โดยมีค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในเลือดเป็นตัวควบคุมอีกทีหนึ่ง

→ ถ้ามีมากเกินไป → เราจะหายใจถี่ขึ้น

* สมองส่วนเมดัลลาออบลองกาตา จะกระตุ้นให้กล้ามเนื้อที่ช่วยในการหายใจทำงานมากขึ้น

→ ถ้ามีน้อยเกินไป → เราจะหายใจช้าลง

* สมองส่วนเมดัลลาออบลองกาตา จะกระตุ้นให้กล้ามเนื้อที่ช่วยในการหายใจทำงานน้อยลง

2) ระบบบัฟเฟอร์ เป็นการเพิ่มสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือเบสเข้าสู่กระแสเลือด

* ระบบบัฟเฟอร์ที่สำคัญในร่างกาย ได้แก่

ระบบที่ 1 ระบบไบคาร์บอเนต (Bicarbonate Buffering System) มีสารละลายบัฟเฟอร์ คือ เฮโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง

ระบบที่ 2 ระบบฟอสเฟต (Phosphate Buffering System) มีสารละลายบัฟเฟอร์ คือ สัดส่วนของกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

ระบบที่ 3 ระบบโปรตีน (Protein Buffering System) มีสารละลายบัฟเฟอร์ คือ โปรตีนในน้ำเลือด (Plasma) เช่น ฮีสทิดีน และอัลบูมิน

* ถือว่าเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพ เพราะทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสเกือบคงที่ และใช้เวลาน้อยที่สุด แต่บางครั้งอาจเป็นอันตรายเนื่องจากเป็นการปรับระดับความเป็นกรด-เบสอย่างรวดเร็ว

3) การควบคุมค่าความเป็นกรด-เบสของไต เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด แต่ใช้เวลานานที่สุดเช่นกัน

* โดยไตจะขับสารที่เป็นกรดหรือเบสออกมาพร้อมกับปัสสาวะนั่นเอง

การรักษาสมดุลของอุณหภูมิ

- สามารถแบ่งกลุ่มของสัตว์ตามระดับอุณหภูมิในร่างกายได้ 2 ประเภท คือ

1) สัตว์เลือดเย็น (Poikilothermic Animal)

- เป็นสัตว์ที่ระดับอุณหภูมิของร่างกายเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมภายนอก
- ถ้าอุณหภูมิภายนอกสูง อัตราพลังงานที่ใช้ในการเผาผลาญภายในร่างกายของสัตว์เลือดเย็นจะสูงไปด้วย
- แต่ถ้าอุณหภูมิภายนอกลดลงอย่างรวดเร็ว อาจทำให้เกิดความผิดปกติของการทำงานภายในร่างกายได้เช่นกัน
- วิธีที่สัตว์เลือดเย็นใช้ในการปรับตัว เช่น อพยพ จำศีล นอนผึ่งแดด และหลบแดดตามที่ต่างๆ
- ตัวอย่างของสัตว์เลือดเย็น เช่น กุ้ง หอย ปู ปลา แมลง สัตว์เลื้อยคลาน และสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ

2) สัตว์เลือดอุ่น (Homoeothermic Animal) เป็นสัตว์ที่มีระดับอุณหภูมิของร่างกายคงที่ไม่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมภายนอก

- อาศัยสิ่งต่อไปนี้ในการปรับอุณหภูมิร่างกายให้คงที่ ได้แก่

1) โครงสร้างของร่างกาย

→ การระบายความร้อน เช่น รูขุมขนและต่อมเหงื่อตามผิวหนัง

→ การกักเก็บความร้อน เช่น ขนยาวคลุมร่างกาย และไขมันหนาใต้ผิวหนัง

2) การทำงานของระบบในร่างกาย → ศูนย์กลางการควบคุมอุณหภูมิของร่างกายจะอยู่ที่สมองส่วนไฮโปธาลามัส

- สรุปขั้นตอนการทำงานเพื่อควบคุมอุณหภูมิในร่างกาย ดังนี้
  1) ร่างกายรับความรู้สึกร้อนหรือหนาวผ่านทางหน่วยรับรู้อุณหภูมิ เช่น ผิวหนัง และเปลือกตา
  2) สมองส่วนไฮโปธาลามัสรับสัญญาณความรู้สึกแล้วจึงแปลผลข้อมูลให้เป็นกระแสประสาท
  3) ส่งกระแสประสาทที่ได้ไปยังหน่วยปฏิบัติงานให้ตอบสนองเพื่อปรับระดับอุณหภูมิในร่างกาย
     - ถ้าต้องการระบายความร้อน เช่น ลดการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย และเหงื่อออก
     - ถ้าต้องการกักเก็บความร้อน เช่น ขนลุก เส้นเลือดและกล้ามเนื้อหดตัว

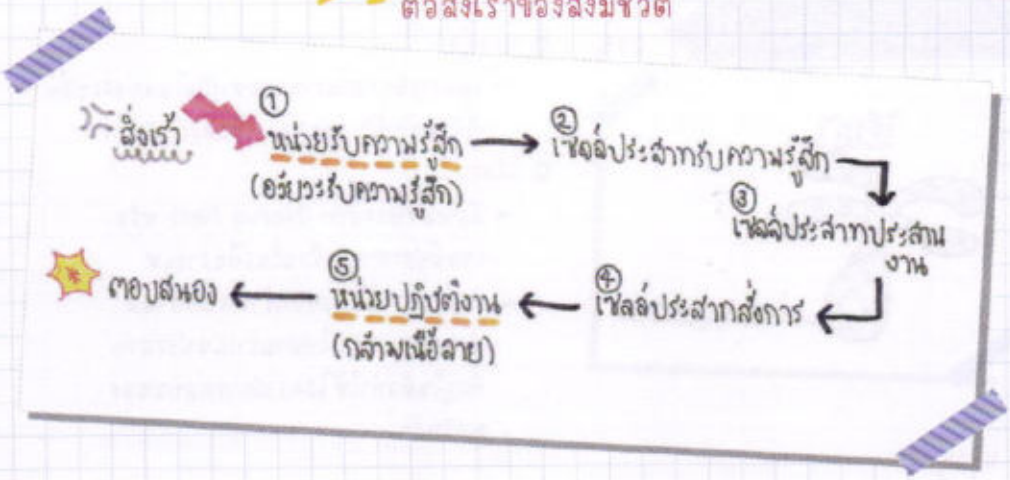
3) การเปลี่ยนพฤติกรรม → เกิดขึ้นขณะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วและรุนแรง เช่น นุ่งห่มเสื้อผ้าสำหรับกันหนาว การเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศของมนุษย์ หรือการอพยพย้ายถิ่นชั่วคราวของสัตว์

- ตัวอย่างของสัตว์เลือดอุ่น เช่น สัตว์ปีก และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมรวมถึงมนุษย์

บทที่ 14
ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก

1. แผนผังการรับรู้และการตอบสนอง

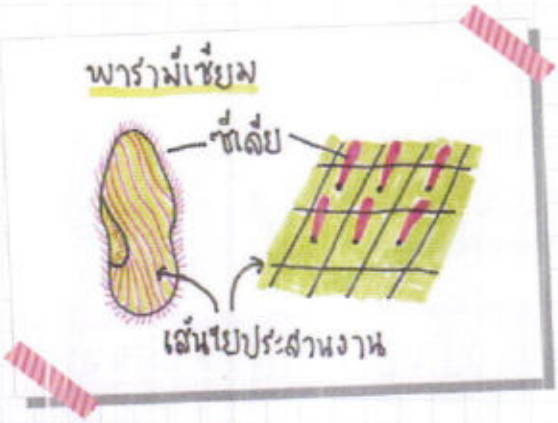
ต่อสิ่งเร้าของสิ่งมีชีวิต



2. การรับรู้และการตอบสนองของจุลินทรีย์และสัตว์

จุลินทรีย์ → เช่น

- พารามีเซียม
  - ไม่มีเซลล์ประสาท แต่สามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้ เช่น แสงสว่าง สารเคมี และอุณหภูมิ
  - มีเส้นใยประสานงาน (Coordinating Fiber) อยู่ที่โคนของซีเลีย (Cilia)
    - ทำให้พารามีเซียมสามารถควบคุมการพัดโบกของซีเลียได้



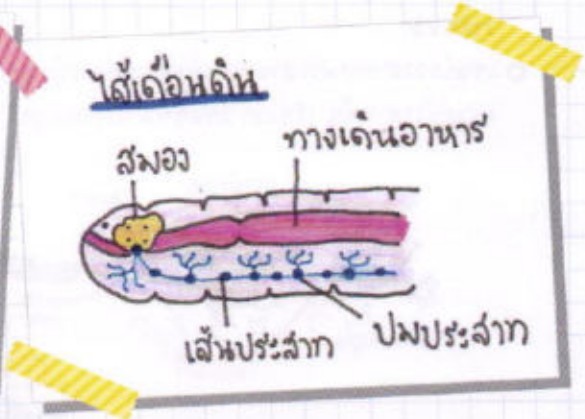
สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง

เช่น

- ฟองน้ำ
  - ไม่มีการประสานงานระหว่างกันในแต่ละเซลล์ที่ทำหน้าที่รับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้า
- ไฮดรา
  - มีร่างแหประสาท (Nerve Net) หรือเซลล์ประสาทที่เชื่อมกันเป็นร่างแห
  - ขณะถูกกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าจะเกิดกระแสประสาทกระจายไปตามร่างแหประสาทที่อยู่ในตัวทำให้ไฮดรามีการตอบสนองต่อสิ่งเร้า

- พลานาเรีย
  - มีลักษณะพิเศษที่ช่วยในการส่งกระแสประสาท ประกอบด้วย
    - ปมประสาท (Nerve Ganglion) หรือเรียกว่า สมอง (Brain)
      >> เป็นกลุ่มของเซลล์ประสาทที่รวมกันอยู่บริเวณหัวของพลานาเรีย
    - วงแหวนประสาท (Nerve Ring)
      >> เป็นเส้นประสาทที่วนอยู่รอบลำตัว
    - เส้นประสาทใหญ่ (Nerve Cord) จำนวน 2 เส้น
      >> เป็นเส้นประสาทที่ขนานอยู่รอบลำตัวแบบขั้นบันได (Ladder Type)
      >> เชื่อมอยู่กับวงแหวนประสาท

- ไส้เดือนดิน กุ้ง หอย และแมลง
  - มีปมประสาทที่หัวเหมือนพลานาเรีย แต่มีขนาดใหญ่ขึ้น รวมถึงมีเส้นประสาทเชื่อมปมประสาทที่อยู่ตามลำตัวในแต่ละปล้อง
  - ลักษณะพิเศษอื่นๆ เช่น
    - ไส้เดือนดิน มีวงแหวนประสาทอยู่ตรงระหว่างปล้องที่ 2 และ 3
    - กุ้ง หอย มีประสาทที่หัว ลำตัว และขา อย่างละ 1 คู่
    - แมลง มีวงแหวนประสาทอยู่รอบปาก และมีปมประสาทเรียงตามยาวที่ท้องของลำตัว



- สัตว์มีกระดูกสันหลังทั้งหมดรวมถึงมนุษย์
  - มีระบบประสาทที่เจริญดีกว่าสัตว์ประเภทอื่นมาก
  - โดยส่วนใหญ่แล้วส่วนกลางของระบบประสาทจะอยู่ที่หัวหรือศีรษะ
  - มีสมอง (Brain) และไขสันหลัง (Spinal Cord)

3. เซลล์ในระบบประสาท

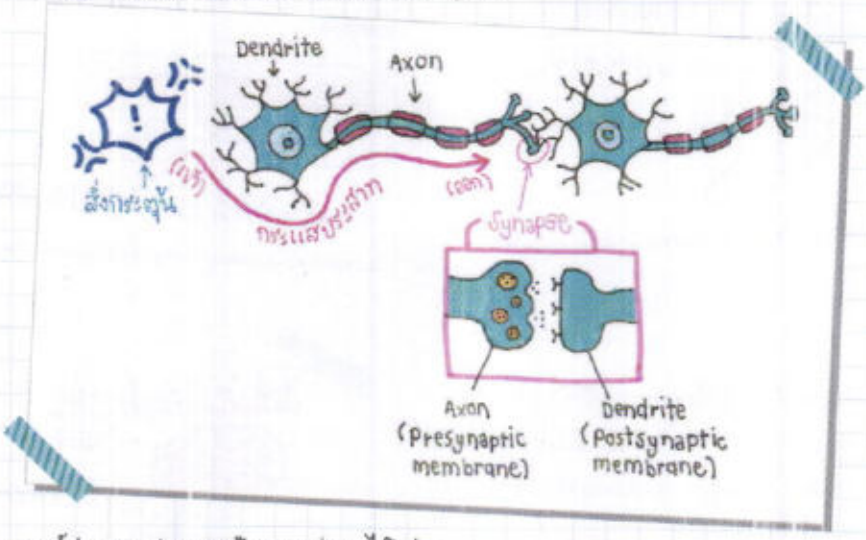
เซลล์ค้ำจุน (Supporting Cell หรือ Glial Cell)

- เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่ป้องกัน สร้างและสนับสนุนการทำงานของเซลล์ประสาท
- เปรียบเสมือนเป็นพี่เลี้ยงที่คอยดูแลช่วยเหลือน้องใหม่ไฟแรงให้ทำงานได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

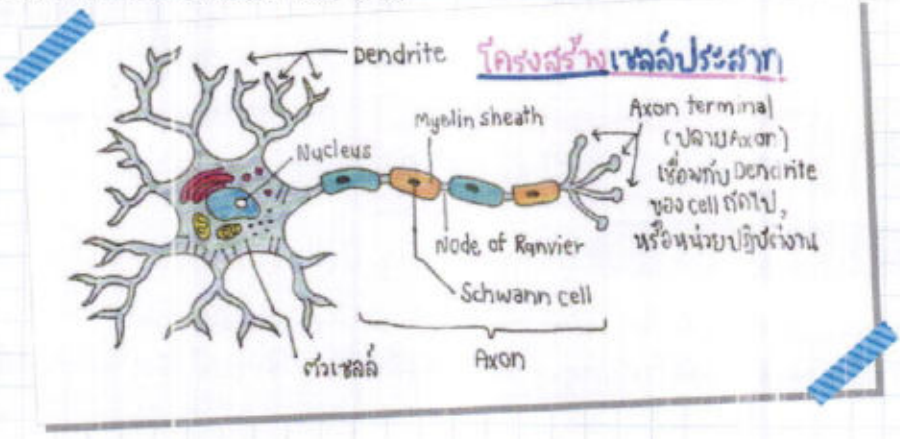
- ตัวอย่างของเซลล์ค้ำจุน เช่น เซลล์ชวานน์ (Schwann Cell) เซลล์แซทเทลไลต์ (Satellite Cell)

เซลล์ประสาท (Nerve Cell) หรือนิวรอน (Neuron)

- เป็นเซลล์จำนวนมากที่คอยรับและส่งสัญญาณในการตอบสนองสิ่งเร้าภายนอก และการทำงานภายในร่างกาย
- ส่วนมากจะอยู่ที่หัว ซึ่งพัฒนาต่อไปเป็นสมอง จากนั้นจึงทอดยาวลงไปตามด้านหลังสมอง คือ ไขสันหลัง
- เซลล์ประสาทจะประสานต่อกันไปช่วยในการถ่ายทอดกระแสประสาท โดยบริเวณรอยต่อระหว่างเซลล์ประสาทนั้น เรียกว่า ไซแนปส์ (Synapse)



- เซลล์ประสาทประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่

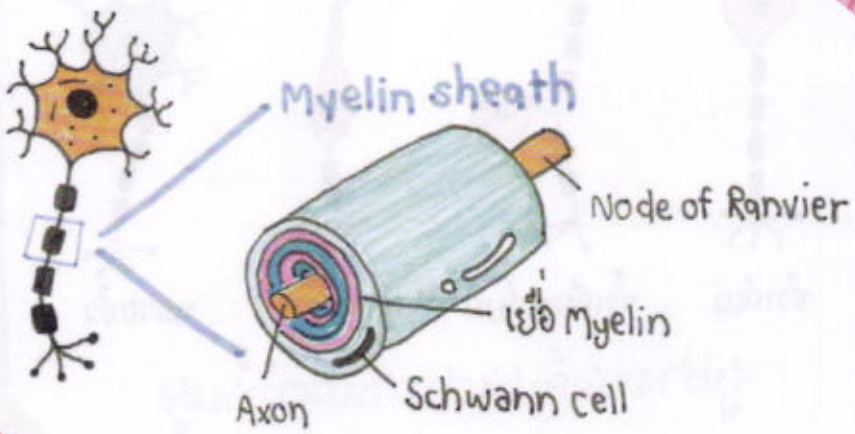


1) ตัวเซลล์ (Cell Body)

- ประกอบด้วยนิวเคลียส (Nucleus) และไซโตพลาสซึม (Cytoplasm)
- ออร์แกเนลล์สำคัญที่อยู่ภายใน ได้แก่ ไมโทคอนเดรีย เอนโดพลาสมิก เรติคูลัม และกอลจิคอมเพล็กซ์
- มีเส้นใยประสาทขนาดเล็กแตกออกมาจากตัวเซลล์ เพื่อให้สะดวกต่อการรับส่งกระแสประสาท

2) เส้นใยประสาท (Nerve Fiber)

- เป็นเส้นเล็กๆ ที่แตกแขนงออกมาจากตัวเซลล์ มี 2 ชนิด ได้แก่
  1) แอกซอน (Axon) >> ถ่ายทอดกระแสประสาทออกจากตัวเซลล์
  2) เดนไดรต์ (Dendrite) >> รับกระแสประสาทเข้าสู่ตัวเซลล์
- บางเซลล์ประสาทอาจไม่มีเดนไดรต์ หรือมีเดนไดรต์ที่มีหนึ่งเส้นใยหรือหลายๆ เส้นใยก็ได้
- แอกซอนที่ยาว หนาและใหญ่ จะมีเยื่อไมอีลิน (Myelin Sheath) หุ้มที่เส้นใยประสาท
  - เยื่อไมอีลิน (Myelin Sheath)
    >> มีลิพิดเป็นองค์ประกอบ
    >> ติดต่อกับเซลล์ค้ำจุนชนิดหนึ่ง ที่ชื่อว่า เซลล์ชวานน์ (Schwann Cell)
    >> ตรงรอยต่อของเยื่อไมอีลินและเซลล์ชวานน์แต่ละเซลล์ เรียกว่า โนดออฟแรนเวียร์ (Node of Ranvier)



- ประเภทของเซลล์ประสาท

1) แบ่งตามหน้าที่

— เซลล์ประสาทรับความรู้สึก (Sensory Neuron)

- อยู่ที่ปมประสาทรากบนของไขสันหลัง
- ทำหน้าที่รับกระแสประสาทจากหน่วยที่รับความรู้สึกแล้วส่งไปยังเซลล์ประสาทสั่งการ

  >> แต่บางครั้งอาจผ่านเซลล์ประสาทประสานงานด้วย

— เซลล์ประสาทสั่งการ (Motor Neuron)

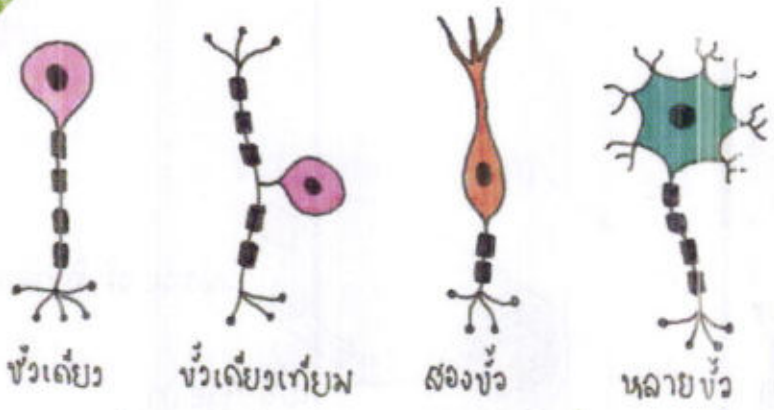
- ทำหน้าที่ส่งกระแสประสาทออกจากไขสันหลังไปยังอวัยวะที่เป็นหน่วยปฏิบัติงาน เช่น กล้ามเนื้อขา
- ส่วนมากอวัยวะที่เป็นหน่วยปฏิบัติงานอยู่ไกลจากไขสันหลังที่เซลล์ประสาทสั่งการอยู่มาก

  >> แอกซอนของประสาทสั่งการจึงมีขนาดยาวมากกว่าเดนไดรต์มาก

— เซลล์ประสาทประสานงาน (Association Neuron)

- อยู่ในสมองและไขสันหลัง
- ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาททั้งสองประเภทข้างต้น จึงมีขนาดไม่ยาวมากนัก

2) แบ่งตามจำนวนขั้ว

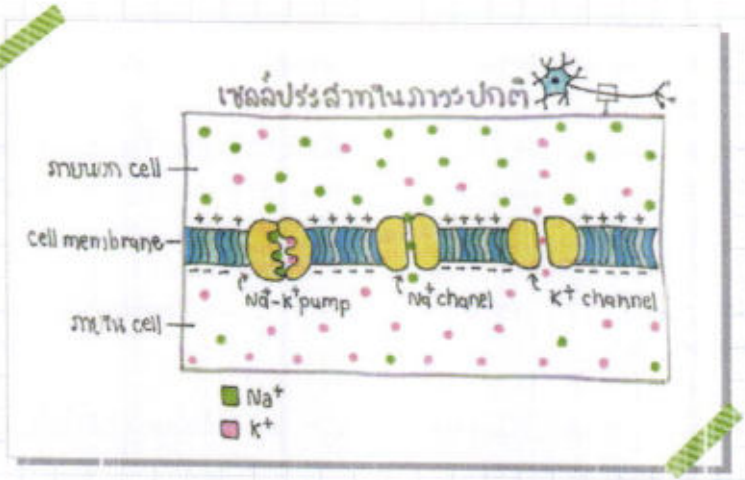


รูปร่างเซลล์ประสาทในสัตว์ชั้นสูง

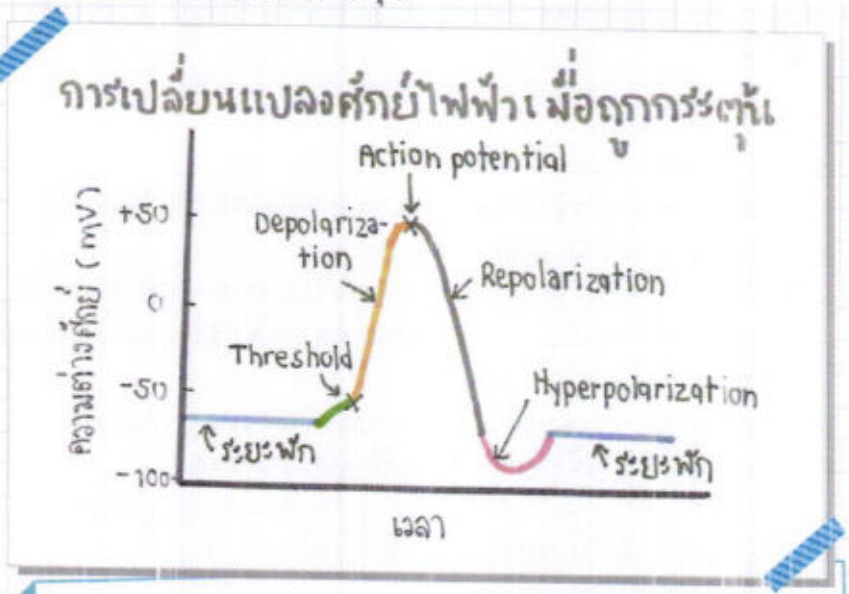
- เซลล์ประสาทขั้วเดียว (Unipolar Neuron)
  - เป็นเซลล์ประสาทที่มีเส้นใยแตกออกมาจากตัวเซลล์เพียง 1 เส้น (แอกซอน) มีไซแนปส์เชื่อมกันน้อย เช่น เซลล์ประสาทที่หลั่งฮอร์โมนของสัตว์ต่างๆ
  - ส่วนเซลล์ประสาทแบบขั้วเดียว แต่เส้นใยที่ออกมาเส้นเดียวนั้นแตกออกเป็น อีก 2 เส้น จะถูกเรียกว่า เซลล์ประสาทขั้วเดียวเทียม (Pseudounipolar Neuron)
- เซลล์ประสาทสองขั้ว (Bipolar Neuron)
  - เป็นเซลล์ประสาทที่มีเส้นใยแตกออกมาจากตัวเซลล์ 2 เส้น คือ แอกซอน 1 เส้น และเดนไดรต์ 1 เส้น เช่น เซลล์รับกลิ่นที่จมูก เซลล์รับเสียงที่หูชั้นใน เซลล์ที่เรตินาที่ดวงตา
- เซลล์ประสาทหลายขั้ว (Multipolar Neuron)
  - เป็นเซลล์ประสาทที่มีเส้นใยแอกซอนออกมาจากตัวเซลล์เพียง 1 เส้นใย แต่มีเดนไดรต์แตกออกมาจำนวนมาก
  - เซลล์ประสาทในร่างกายส่วนใหญ่จะเป็นแบบหลายขั้ว
  - ส่วนมากเป็นเซลล์ประสาทหลายขั้วแบบพวกเซลล์ประสาทสั่งการ เซลล์ประสาทประสานงาน

กลไกการทำงานของเซลล์ประสาท

1) การเกิดกระแสประสาท (Action Potential)
   - จะเกิดขึ้นเมื่อมีสิ่งเร้ามากระตุ้นเซลล์ประสาท จนถึงระดับที่จะมีการตอบสนองได้
   - ในภาวะปกติ หรือ ระยะพัก (Resting Stage)
     - สารละลายภายนอกและภายในเซลล์ประสาทจะมีชนิดและจำนวนของไอออนต่างกัน
     - ภายนอกเซลล์มีโซเดียมไอออน (Na^+) สูงกว่า ส่วนภายในจะมีโพแทสเซียมไอออน (K^+) สูงกว่า
     - แต่เมื่อเทียบกับภายนอกเซลล์นั้น ภายในเซลล์จะมีผลรวมของประจุเป็นลบ
     - ค่าของความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างเยื่อเซลล์ด้านในและด้านนอก
       >> เรียกว่า ศักย์เยื่อเซลล์ระยะพัก (Resting Membrane Potential)
       → ในภาวะปกติจะมีค่าประมาณ -70 มิลลิโวลต์
     - จะมีการปรับสมดุลไอออนอยู่ตลอดเวลา
       >> ด้วยวิธีโซเดียมโพแทสเซียมปั๊ม(Sodium Potassium Pump)
       → ที่ได้พลังงานมาจากการสลาย ATP
       >> โดยโซเดียมไอออน (Na^+) จะถูกส่งไปนอกเซลล์ และโพแทสเซียมไอออน (K^+) เข้ามาในเซลล์
       >> เพื่อให้อยู่ในอัตรา $3Na^+ : 2K^+$ เสมอ



— ในภาวะที่มีสิ่งเร้ามากระตุ้น



- จะเกิดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เยื่อหุ้มเซลล์ส่วนที่ถูกกระตุ้น
  >> เรียกว่า แอกชันโพเทนเชียล (Action Potential)
  >> หรือเรียกว่า กระแสประสาท (Nerve Impulse)
- ถ้ามีระดับเทรชโฮลด์ (Threshold) หรือระดับที่ตอบสนองได้
  >> ช่องโซเดียมจะเปิด และยอมให้โซเดียมไอออน (Na^+) ผ่านเข้าไป
- จากนั้นจะเกิดระยะดีโพลาไรเซชัน (Depolarization)

>> เป็นระยะที่ความต่างศักย์ที่เยื่อเซลล์เปลี่ยนจาก -70 มิลลิโวลต์เป็น +50 มิลลิโวลต์

→ เพราะเยื่อเซลล์ด้านในบริเวณที่โซเดียมไอออน (Na^+) ผ่านเข้าไปเป็นประจุบวกมากขึ้น

- ต่อไปจะเกิดระยะรีโพลาไรเซชัน (Repolarization)

>> เป็นระยะที่ความต่างศักย์ของเยื่อเซลล์กลับสู่สภาพเดิม

→ เพราะเยื่อหุ้มเซลล์จะไม่ยอมให้โซเดียมไอออน (Na^+) ผ่านเพิ่มอีกเมื่อเปิดได้สักพัก

→ และขณะนี้ช่องโพแทสเซียมเปิดให้โพแทสเซียมไอออน (K^+) ออกไปนอกเซลล์ได้

- เกิดเป็นระยะไฮเปอร์โพลาไรเซชัน (Hyperpolarization)

>> เป็นระยะที่ความต่างศักย์จะค่อยๆ ลดต่ำลง กระทั่งต่ำกว่าภาวะปกติ

- สุดท้ายความต่างศักย์ที่เยื่อเซลล์เข้าสู่ระยะพักตามเดิมเพราะช่องโพแทสเซียมจะปิดในที่สุด
- นอกจากนี้จะไม่เกิดการตอบสนองใดๆ ที่ทำให้เกิดกระแสประสาทรอบใหม่เกิดขึ้น

>> ถ้ามีการกระตุ้นเซลล์ประสาทขณะที่ยังไม่จบกระบวนการแอกชันโพเทนเชียลในรอบแรก

— การกลับคืนสู่ภาวะปกติ หรือระยะพัก

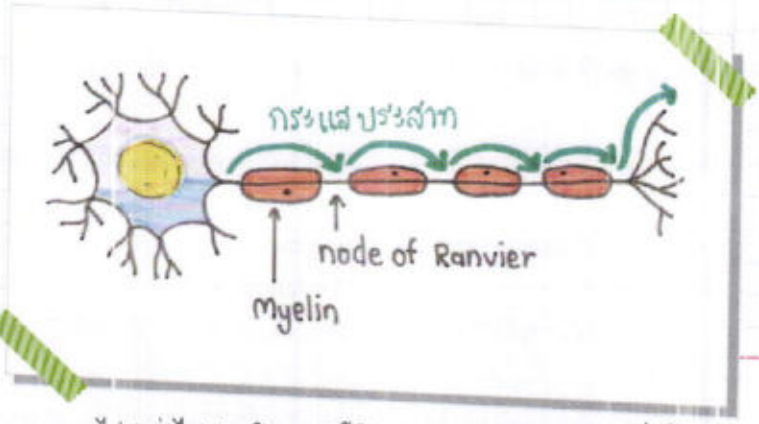
- ปกติจะใช้เวลาเพียงเสี้ยววินาทีเท่านั้น
- แต่เซลล์ประสาทจะไม่กลับคืนภาวะปกติ

>> ถ้าไม่ส่งโซเดียมไอออน (Na^+) ออกนอกเซลล์ และนำโพแทสเซียมไอออน (K^+) เข้าสู่เซลล์

— ปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วในการเดินทางของกระแสประสาท

- เส้นใยประสาทที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่จะนำกระแสประสาทได้เร็วกว่า
- ถ้าเซลล์ประสาทนั้น

>> มีเยื่อไมอีลินหุ้ม จะทำให้กระแสประสาทเดินทางได้รวดเร็วมากขึ้น เพราะเยื่อไมอีลินมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกั้นประจุไฟฟ้าที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้ไม่เกิดแอกชันโพเทนเชียลที่แอกซอนของเซลล์ประสาทนั้นๆ เหมือนเป็นการกระโดดข้ามจากโนดออฟแรนเวียร์ (ส่วนที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม) อันหนึ่งไปสู่อีกอัน และจะเดินทางได้เร็วมากขึ้น ถ้าระยะห่างของโนดออฟแรนเวียร์มีมากขึ้น



>> หากไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม จะทำให้กระแสประสาทเดินทางต่อเนื่องไปเรื่อยๆ และช้ากว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงประจุในจุดต่อไปที่เดินทางผ่าน โดยจุดที่เดินทางผ่านไปแล้วจะกลับคืนสู่ภาวะปกติ

2) การถ่ายทอดกระแสประสาท

– ไซแนปส์ (Synapse)

- เป็นบริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างเซลล์ประสาท อยู่ที่ปลายประสาทของแอกซอนของเซลล์ประสาทหนึ่ง กับเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทอีกเซลล์หนึ่ง แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1) ไซแนปส์ไฟฟ้า (Electrical Synapse)

>> พบในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังชั้นต่ำ

>> เป็นการถ่ายทอดกระแสประสาทของเซลล์ประสาทที่มีช่วงไซแนปส์แคบ

>> เป็นการถ่ายทอดในรูปของกระแสไฟฟ้าจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งโดยตรง

2) ไซแนปส์เคมี (Chemical Synapse)

>> เป็นการถ่ายทอดกระแสประสาทของเซลล์ประสาทที่มีช่วงไซแนปส์กว้าง

>> เป็นการถ่ายทอดกระแสประสาทในรูปของสารเคมี ด้วยการใช้สารสื่อประสาท

– สารสื่อประสาท (Neurotransmitter)

- เป็นสารเคมีที่สร้างจากปลายแอกซอนหรือตัวเซลล์ประสาท
- ทำหน้าที่เป็นตัวนำสัญญาณประสาทผ่านไซแนปส์ หรือช่องว่างระหว่างเซลล์ประสาทกับเซลล์อื่น เช่น โดปามีน (Dopamine) เซโรโทนิน (Serotonin) และแอซิติลโคลีน (Acetyl choline)

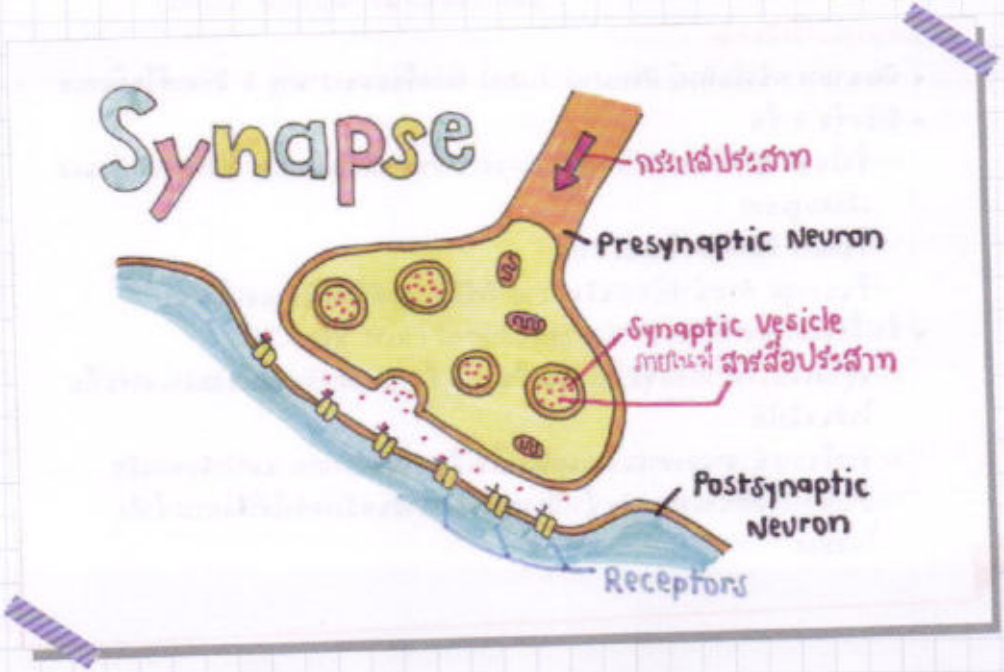
– การถ่ายทอดกระแสประสาทในรูปของเคมี หรือ ไซแนปส์เคมี (Chemical Synapse)

- เนื่องจากกระแสประสาทเดินทางข้ามบริเวณไซแนปส์เองไม่ได้ จึงต้องอาศัยสารสื่อประสาทที่อยู่ในถุงเล็กๆ ที่เรียกว่า Synaptic Vesicle ตรงปลายแอกซอนของเซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์ (Presynaptic Neuron) ในการข้ามไปยังเดนไดรต์ของเซลล์ถัดไป

- ถุงพวกนี้จะไปรวมกับเยื่อหุ้มเซลล์ตรงบริเวณไซแนปส์และปล่อยสารสื่อประสาทออกมาขณะที่กระแสประสาทมาถึงปลายแอกซอน
  >> เป็นการกระตุ้นเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ (Postsynaptic Neuron) หรือเซลล์ที่อยู่ถัดไป ให้มีกระแสประสาทเกิดขึ้นและเดินทางต่อไปได้

— สารสื่อประสาทช่วยในการถ่ายทอดกระแสประสาท

- เริ่มจากการไปจับกับตัวรับ (Receptor) บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ประสาทหลังไซแนปส์
  >> ทำให้เกิดการเคลื่อนที่เข้าออกของไอออนผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ถัดไป
- เกิดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่ทำให้เกิดดีโพลาไรเซชัน หรือภาวะกระตุ้นที่เดนไดรต์ของเซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ที่อยู่ถัดไป
- บางครั้งอาจเกิดไฮเปอร์โพลาไรเซชัน หรือภาวะยับยั้งขึ้น
  >> ทำให้กระแสประสาทเดินทางต่อไปไม่ได้
- หรืออาจเกิดการกระตุ้นที่แอกซอนแทนเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทถัดไป
  >> แบบนี้ก็ทำให้เกิดกระแสประสาทเช่นกัน โดยเดินทางจากปลายแอกซอนไปปลายเดนไดรต์ แต่จะข้ามไปยังเซลล์ประสาทถัดไปไม่ได้ เนื่องจากที่ปลายเดนไดรต์ไม่มีสารสื่อประสาทอยู่นั่นเอง



4. ระบบประสาทของสัตว์มีกระดูกสันหลัง

แบ่งได้ดังนี้

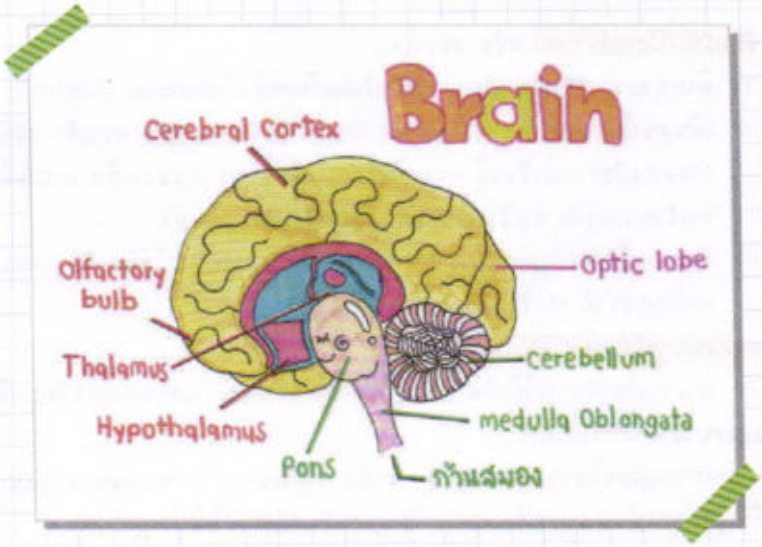
1) ระบบประสาทส่วนกลาง
   - สมอง (Brain)
   - ไขสันหลัง (Spinal Cord)
2) ระบบประสาทรอบนอก
   - ส่วนรับความรู้สึก (Sensory Division)
   - ส่วนรับการสั่งการ (Motor Division)
     - ระบบประสาทโซมาติก (Somatic Nervous System)
     - ระบบประสาทอัตโนวัติ (Automatic Nervous System)
       - ระบบประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic)
       - ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (Parasympathetic)

ระบบประสาทส่วนกลาง

(Central Nervous System หรือ CNS) ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ สมอง (Brain) และ ไขสันหลัง (Spinal Cord)

— ทั้งสมองและไขสันหลัง

- พัฒนามาจากนิวรัลทิวบ์ (Neural Tube) ที่เกิดขึ้นตอนเราอายุ 3 สัปดาห์ในท้องแม่
- มีเยื่อหุ้ม 3 ชั้น
  - >> ชั้นในสุด ทำหน้าที่นำสารอาหารและออกซิเจนมาเลี้ยงสมองและไขสันหลังจึงมีหลอดเลือดอยู่เยอะ
  - >> ชั้นกลาง มีลักษณะเป็นเยื่อบางๆ
  - >> ชั้นนอกสุด ทำหน้าที่ป้องกันอันตราย จึงมีลักษณะที่ทั้งเหนียวและทั้งหนา
- น้ำเลี้ยงสมองและไขสันหลัง (Cerebrospinal Fluid หรือ CSF)
  - >> อยู่บริเวณระหว่างเยื่อหุ้มชั้นในและชั้นกลาง ที่สามารถต่อกับช่องในสมองและช่องในไขสันหลังได้
  - >> ช่วยในการนำสารอาหารและออกซิเจนไปเลี้ยงเซลล์ประสาท และกำจัดของเสีย
  - >> ถ้าเกิดการอุดตันของทางเดินน้ำเลี้ยงสมองและไขสันหลังจะทำให้เกิดภาวะน้ำคั่งในสมอง



สมอง

- สมองของมนุษย์ถือว่ามีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับขนาดตัว มีรอยหยักมากและมีน้ำหนักประมาณ 1.4 กิโลกรัม
- เซลล์ประสาทในสมองมีมากกว่าร้อยละ 90 ของทั้งหมด และส่วนใหญ่เป็นเซลล์ประสาทประสานงาน
- การขาดเลือดไปเลี้ยงสมอง 5 นาที เซลล์สมองจะตาย ทำให้มีผลเสียต่อการรับรู้และการสั่งการของสมอง
  >> การเกิดตะกอนหรือลิ่มเลือดของหลอดเลือดในสมอง ทำให้เลือดไปเลี้ยงสมองไม่ได้เช่นกัน
- สมองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1) สมองส่วนหน้า (Forebrain) ประกอบด้วย

→ ไฮโปธาลามัส (Hypothalamus)

>> ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานหลายอย่างในร่างกาย ได้แก่

* ความต้องการพื้นฐานของร่างกาย เช่น ความหิว ความกระหาย และความต้องการทางเพศ
* ควบคุมอุณหภูมิภายในร่างกาย
* การเต้นของหัวใจ รวมถึงระดับความดันเลือด

>> นอกจากนี้ยังทำหน้าที่สร้างฮอร์โมน

→ ทาลามัส (Thalamus)

>> เป็นศูนย์รวมกระแสประสาท

>> ช่วยในการจำแนกกระแสประสาทชนิดต่างๆ ให้ไปยังสมองส่วนควบคุมกระแสประสาทนั้น

→ **ซีรีบรัม (Cerebrum)** หรือ สมองใหญ่

>> ด้านนอกของซีรีบรัม เรียกว่า ซีรีบรัลคอร์เทกซ์ (Cerebral Cortex)

>> เป็นศูนย์กลางการทำงานด้านต่างๆ ทำงานเกี่ยวกับความคิด ความจำ สติปัญญา การออกเสียง การเรียนรู้ ความรู้สึก การเคลื่อนไหว การมองเห็น การเข้าใจภาษา การรับความรู้สึก การรับกลิ่น และการได้ยินเสียง เป็นต้น

>> นอกจากนี้ยังควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ การพูด การได้ยินเสียง การมองเห็น การรับรสชาติ การรับกลิ่น และการรับสัมผัส

→ **ออลแฟกทอรีบัลบ์ (Olfactory Bulb)**

>> ทำงานเกี่ยวกับการได้กลิ่น ในมนุษย์จะไม่ค่อยพัฒนา แต่ในปลาจะมีขนาดใหญ่

2) สมองส่วนกลาง (Midbrain)

- ควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกาย หัว ลำตัว การกลอกตา การตอบสนองต่อแสงและเสียง
- เป็นศูนย์กลางในการมองเห็นของสัตว์มีกระดูกสันหลังที่ไม่ได้เลี้ยงลูกด้วยนม

>> เรียกสมองส่วนนี้ว่า ออปติกโลบ (Optic Lobe)

3) สมองส่วนหลัง (Hindbrain) ประกอบด้วย

→ **ซีรีเบลลัม (Cerebellum)**

>> ควบคุมการทรงตัว การเคลื่อนไหวของร่างกาย และการทำงานที่ใช้ความละเอียดอ่อน

>> การดื่มแอลกอฮอล์มีผลต่อการทำงานของสมองส่วนซีรีเบลลัม

→ **เมดัลลาออบลองกาตา (Medulla Oblongata)**

>> ควบคุมการหายใจ การเต้นของหัวใจ ความดันเลือด รวมถึงการกลืน การอาเจียน การสะอึกและการจาม

→ **พอนส์ (Pons)**

>> ควบคุมการเคี้ยว หลั่งน้ำลาย การหายใจ และการเคลื่อนไหวของใบหน้า

→ **ก้านสมอง (Brainstem)**

>> ตั้งอยู่ลึกบริเวณด้านหลังและด้านล่างของสมอง

>> เป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างสมองใหญ่และไขสันหลัง

>> ประกอบด้วยสมองส่วนกลาง สมองส่วนเมดัลลาออบลองกาตา และพอนส์

- สมองของสัตว์มีกระดูกสันหลังชั้นสูง มีส่วนเนื้อสมองชั้นนอกเป็นสีเทา และส่วนชั้นในเป็นสีขาว ดังนี้

1) สีเทา (Gray Matter) >> เป็นส่วนของสมองส่วนนอก

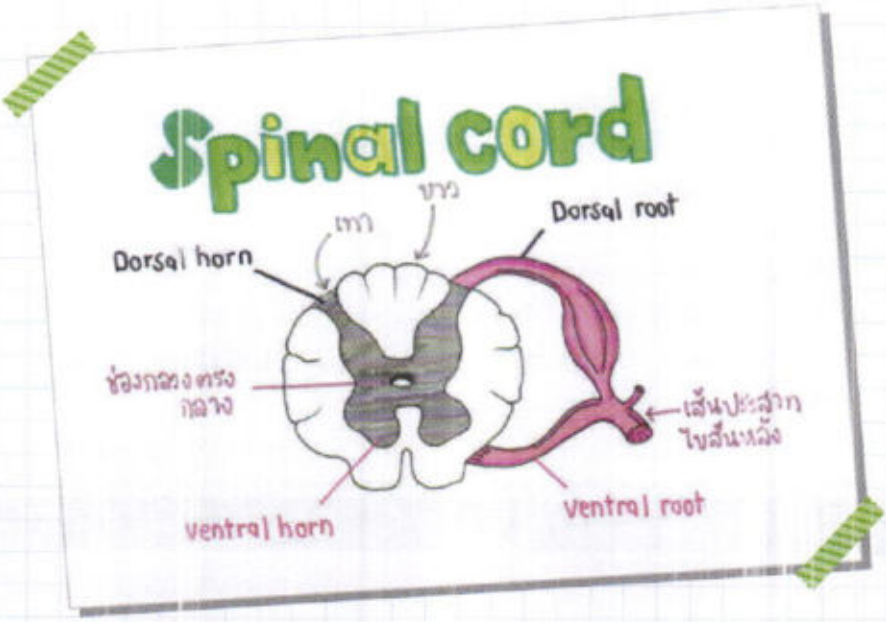
- ประกอบไปด้วยตัวเซลล์ประสาทและแอกซอนที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม
- ถ้ามีรอยหยักในสมองมากจะทำให้พื้นที่ผิวของสมองมากขึ้น ทำให้มีเนื้อสมองสีเทาเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้มีจำนวนเซลล์ประสาทมากตามไปด้วย โดยคนที่ฉลาดมักมีแนวโน้มจะมีเซลล์ประสาทจำนวนมาก

2) สีขาว (White Matter)

- เป็นส่วนของสมองส่วนใน
- ประกอบไปด้วยเส้นใยประสาทที่มีเยื่อหุ้มไมอีลิน ซึ่งมีลิพิดเป็นองค์ประกอบทำให้เป็นเนื้อสมองสีขาว

- เส้นประสาทสมอง (Cranial Nerves หรือ CN)
  >> เป็นเส้นประสาทที่ออกมาจากสมองโดยตรง มีทั้งหมด 12 คู่
  >> ทำหน้าที่รับความรู้สึกและการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อบริเวณใบหน้า ปาก และคอ
  >> เส้นประสาทสมองบางคู่เป็นแบบรับความรู้สึก (Sensory) หรือสั่งการ (Motor) อย่างเดียว
  → แต่บางคู่ก็ทำทั้งสองอย่าง เรียกว่า 'เส้นประสาทแบบผสม (Mixed Nerve)'

คู่ที่	หน้าที่	อวัยวะที่เกี่ยวข้อง
1	รับความรู้สึก	รับกลิ่นจากจมูกส่งไปสมอง
2	รับความรู้สึก	รับภาพจากเรตินาส่งไปสมอง
3	สั่งการ	สมองสั่งการไปที่กล้ามเนื้อยึดลูกตา
4	สั่งการ	สมองสั่งการไปที่กล้ามเนื้อยึดลูกตา
5	รับความรู้สึก และสั่งการ	รับความรู้สึกจากใบหน้าและช่องปากส่งไปสมอง สมองสั่งการไปที่กล้ามเนื้อที่ใช้ในการเคี้ยวอาหาร
6	สั่งการ	สมองสั่งการไปที่กล้ามเนื้อยึดลูกตา
7	รับความรู้สึก และสั่งการ	รับรสจากลิ้นส่งไปสมอง สมองสั่งการไปที่กล้ามเนื้อหน้า ทำให้เกิดสีหน้าต่างๆ
8	รับความรู้สึก	รับเสียงจากหูไปที่สมอง รวมถึงการทรงตัว
9	รับความรู้สึก และสั่งการ	รับความรู้สึกจากคอหอยและรับรสจากลิ้นส่งไปสมอง สมองสั่งการไปที่กล้ามเนื้อคอหอยให้กลืน สมองสั่งการไปที่กล้ามเนื้อคอหอยให้กลืน และที่ต่อมน้ำลายให้หลั่งน้ำลาย
10	รับความรู้สึก และสั่งการ	รับความรู้สึกจากคอ กล่องเสียง ช่องอกและท้อง สมองสั่งการไปที่กล้ามเนื้อคอ ภายในปากและท้อง
11	สั่งการ	สมองสั่งการไปที่กล้ามเนื้อในการเอียงคอและยักไหล่
12	สั่งการ	สมองสั่งการไปที่กล้ามเนื้อลิ้น

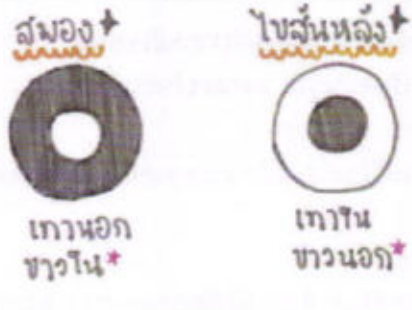


ไขสันหลัง (Spina Cord)

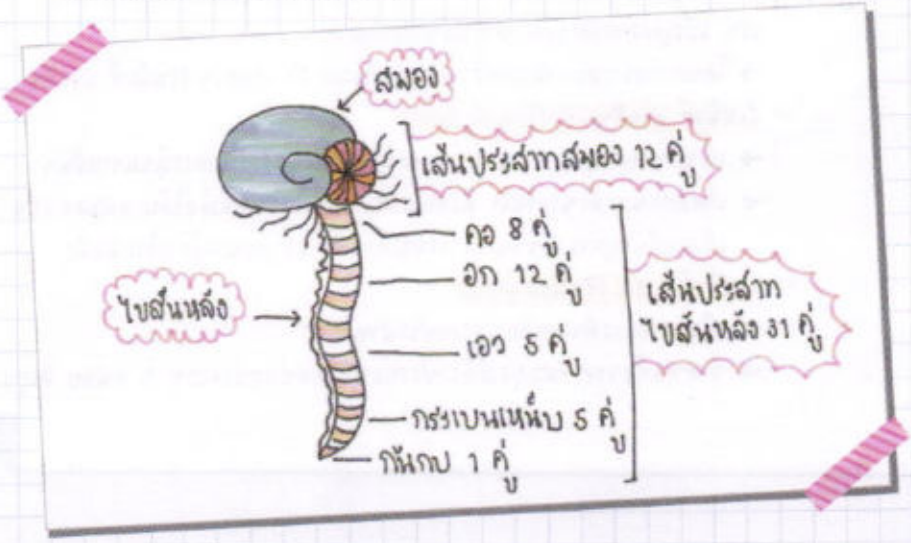
- เป็นส่วนที่ต่อมาจากสมองส่วนเมดัลลาออบลองกาตา อยู่ตรงกระดูกสันหลังข้อแรกจนถึงปั้นเอวข้อที่ 2
- เมื่อตัดไขสันหลังออกตามแนวขวางจะเห็นเป็น 2 สี คือ ข้างในเป็นสีเทา และข้างนอกเป็นสีขาว ดังนี้

1) สีเทา (Gray Matter)
   - เป็นส่วนที่มีตัวเซลล์ประสาทอยู่เป็นจำนวนมาก
   - บริเวณนี้ถูกล้อมรอบด้วยบริเวณเนื้อสีขาว ซึ่งมีลักษณะคล้ายปีกผีเสื้อ หรือรูปตัว H
   - แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ
     >> ดอร์ซัลฮอร์น (Dorsal Horn) หรือปีกคู่บน มีแอกซอนของเซลล์ประสาทรับความรู้สึกที่รับมาจากหน่วยรับความรู้สึก (Sensory) เข้ามาทางรากบน (Dorsal Root) ที่มีปมประสาทรากบน (Dorsal Root Ganglion) อยู่
     >> เวนทรัลฮอร์น (Ventral Horn) หรือปีกคู่ล่าง เป็นที่อยู่ของเซลล์ประสาทสั่งการ (Motor Nerves) และต่ออยู่กับรากล่าง (Ventral Root) จึงนำกระแสประสาทออกทางรากล่างนี้

2) สีขาว (White Matter)
   - เป็นบริเวณที่มีเส้นใยประสาทที่มีเยื่อไมอีลินหุ้มอยู่ ทำให้เกิดเป็นบริเวณพื้นที่สีขาว
   - ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของกระแสประสาทระหว่างไขสันหลังกับสมอง



- เส้นประสาทไขสันหลัง (Spinal Nerves หรือ SN)
  - >> เป็นเส้นประสาทที่ออกมาจากแต่ละส่วนของไขสันหลัง โดยมีทั้งหมด 31 คู่
  - >> ทุกคู่ทำหน้าที่ทั้งรับความรู้สึก (ทางรากบน) และสั่งการ (ทางรากล่าง) ไปที่กล้ามเนื้อลำตัว แขนและขา
  - >> ถือเป็นเส้นประสาทแบบผสม (Mixed Nerve)
  - >> เส้นประสาทไขสันหลังทั้งหมดแบ่งออกเป็น 5 บริเวณ ได้แก่ คอ 8 คู่ อก 12 คู่ เอว 5 คู่ กระเบนเหน็บ 5 คู่ และก้นกบ 1 คู่
  - >> ที่เส้นประสาทไขสันหลังบริเวณเอวคู่ที่ 2 ลงไปจะไม่มีไขสันหลังอยู่ ทำให้สามารถเจาะลงไปเพื่อตรวจหรือฉีดยาเข้าไปได้



ระบบประสาทรอบนอก (Peripheral Nervous System หรือ PNS)

- เป็นระบบประสาทที่แตกแขนงออกมาจากระบบประสาทส่วนกลาง
- ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนรับความรู้สึก และส่วนรับการสั่งการ
  - ส่วนรับความรู้สึก (Sensory Division)
    - เป็นส่วนของเซลล์ประสาทที่รับกระแสประสาทจากภายในและนอกร่างกาย ไปส่งให้สมองส่วนกลาง
  - ส่วนรับการสั่งการ (Motor Division)
    - เป็นส่วนของเซลล์ประสาทที่รับคำสั่งการปฏิบัติงานจากประสาทส่วนกลางไปยังกล้ามเนื้อและต่อมต่างๆ
    - แบ่งเป็น

      1) ระบบประสาทโซมาติก (Somatic Nervous System, SNS)

      >> ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อลาย

      >> แผนการทำงานของระบบประสาทโซมาติก มีดังนี้

      1) เซลล์ประสาทรับความรู้สึกรับกระแสประสาทมาจากหน่วยรับความรู้สึก
      → ผ่านทางเส้นประสาทไขสันหลังหรือเส้นประสาทสมอง

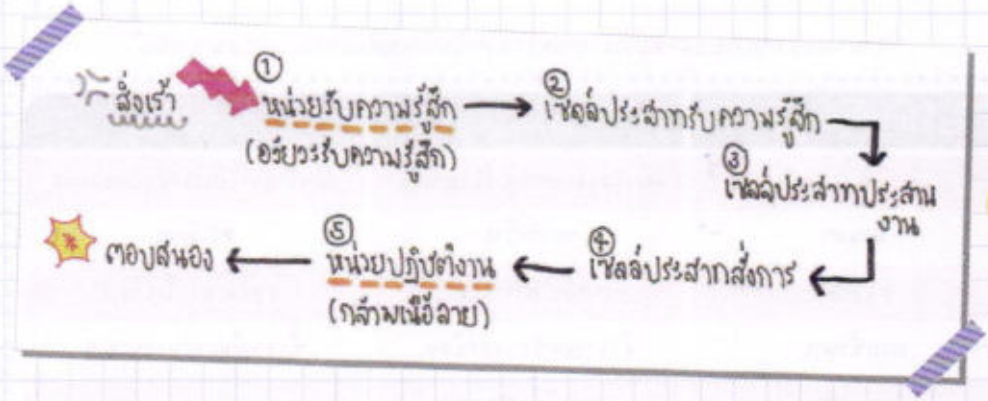
      2) ส่งกระแสประสาทที่รับมาเข้าสู่สมองหรือไขสันหลัง

      3) กระแสประสาทที่รับมาจะถูกส่งไปยังหน่วยปฏิบัติงานหรือกล้ามเนื้อลาย
      → ผ่านทางเส้นประสาทไขสันหลังหรือเส้นประสาทสมองอีกระบบหนึ่ง

      >> แต่บางครั้งก็ทำงานได้ด้วยการสั่งการของไขสันหลังเพียงอย่างเดียวเท่านั้น เช่น, เมื่อถูกเคาะที่หัวเข่า จะทำให้ขากระตุก
      → โดยการตอบสนองต่อสิ่งเร้านั้น (สิ่งที่มาเคาะ) เรียกว่า รีเฟลิกซ์ แอ็คชั่น

      >> รีเฟลิกซ์ แอ็คชั่น (Reflex Action)
      → เป็นการตอบสนองของร่างกายแบบทันทีต่อสิ่งเร้าที่มากระตุ้นแบบสั้นๆ
      → เกิดภายนอกอำนาจจิตใจ ด้วยการสั่งการของไขสันหลังไม่ได้ผ่านสมอง เช่น เมื่อเหยียบถูกของแหลม เราจะชักเท้าหนีทันที ก่อนจะรู้ว่าเจ็บเสียอีก

      >> รีเฟลิกซ์ อาร์ก (Reflex Arc)
      → เป็นวงจรการทำงานของระบบประสาท
      → ซึ่งหากเป็นวงจรที่สมบูรณ์ต้องประกอบด้วยหน่วยประสาท 5 หน่วย ดังรูป



→ บางครั้งถ้าไม่ครบทั้ง 5 หน่วย อย่างน้อยก็ต้องประกอบด้วย 2 หน่วยนี้ ได้แก่

* หน่วยที่ 1 คือหน่วยรับความรู้สึก
* หน่วยที่ 5 หน่วยปฏิบัติงาน
  - เช่น การกระตุกของเอ็นใต้หัวเข่าใช้การทำงานแค่เพียง 2 หน่วย

2) ระบบประสาทอัตโนวัติ (Automatic Nervous System หรือ ANS)

>> ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อที่อยู่ภายนอกอำนาจจิตใจให้ทำงานตามปกติ

>> ประกอบด้วย 2 ระบบที่ทำงานตรงข้ามกัน ได้แก่

1) ระบบประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic)

→ ถูกกระตุ้นเมื่อตกอยู่ในสถานการณ์อันตรายฉุกเฉิน ตื่นเต้น หรือตกใจ

2) ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (Parasympathetic)

→ ทำงานตรงข้ามกับระบบประสาทซิมพาเทติก

→ ถูกกระตุ้นเมื่อรู้สึกผ่อนคลาย ไม่มีเหตุการณ์อะไรเป็นพิเศษ

"ตารางเปรียบเทียบระหว่างระบบประสาทซิมพาเทติกและพาราซิมพาเทติก"

อวัยวะที่ถูกกระตุ้น	ซิมพาเทติก	พาราซิมพาเทติก
หัวใจ	เต้นรัวและแรง สูบฉีดมากขึ้น	เต้นช้าและไม่แรง สูบฉีดน้อยลง
ม่านตา	ขยายกว้าง	หรี่เล็กลง
หลอดลม	คลายตัว หายใจคล่อง	หดตัว หายใจได้ช้า
ต่อมน้ำลาย	น้ำลายเหนียวและน้อย	น้ำลายใสและออกมามาก
ต่อมเหงื่อ	กระตุ้นให้เหงื่อออก	-
ต่อมหมวกไตชั้นใน	กระตุ้นให้หลั่งฮอร์โมน	-
กระเพาะอาหาร ลำไส้ ตับอ่อน	ลดการย่อยอาหาร	เพิ่มการย่อยอาหาร
ตับ	กระตุ้นการสลายของไกลโคเจน	กระตุ้นให้อุ้งน้ำดีหดตัว
กระเพาะปัสสาวะ	คลายตัว ห้ามปัสสาวะ	หดตัว กระตุ้นปัสสาวะ
กล้ามเนื้อโคนขน	ขนลุก	ขนนอนราบ

ความผิดปกติที่เกี่ยวข้องกับสมองและไขสันหลัง

- ภาวะน้ำคั่งในโพรงสมอง (Hydrocephalus) หรือภาวะน้ำท่วมสมอง
  - เกิดจากความไม่สมดุลของน้ำในโพรงสมองหรือน้ำไขสันหลัง กรณีเฉียบพลันจะปวดศีรษะมาก คลื่นไส้ อาเจียน จนอาจเสียชีวิต แต่แบบเรื้อรังมักจะปวดศีรษะแบบเป็นๆ หายๆ
  - สามารถรักษาให้หายได้ แต่ต้องได้รับการวินิจฉัยตั้งแต่เนิ่นๆ
- ภาวะสมองฝ่อ (Cerebral Atrophy หรือ Brain Atrophy)
  - เป็นอาการที่เนื้อสมองมีขนาดเล็กลง มักพบในผู้สูงอายุ เป็นอาการตามธรรมชาติ ไม่จัดเป็นโรค
  - สาเหตุหรือปัจจัยเสี่ยง เช่น เคยได้รับอุบัติเหตุที่ศีรษะ การผ่าตัดที่สมอง และโรคประจำตัวบางชนิด
  - อาจมีอาการหลงลืม อารมณ์และพฤติกรรมบางอย่างเปลี่ยนไป สติปัญญาลดลง หรือคิดอะไรไม่ค่อยออก
- โรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's Disease)
  - เป็นอาการสมองเสื่อม ส่วนมากพบในผู้สูงอายุในทุกเชื้อชาติ และพบในเพศหญิงมากกว่าเพศชายเล็กน้อย

- อาจมีสาเหตุมาจากพันธุกรรม และปัจจัยอื่น เช่น อายุ เคยได้รับอุบัติเหตุทางสมอง น้ำหนักเกิน และโรคเบาหวาน
- ปัจจุบันยังไม่มีวิธีการรักษาให้หายขาด แต่จะเป็นการรักษาตามอาการมากกว่า

โรคลมชัก (Epilepsy) หรือที่เรียกว่า 'ลมบ้าหมู'

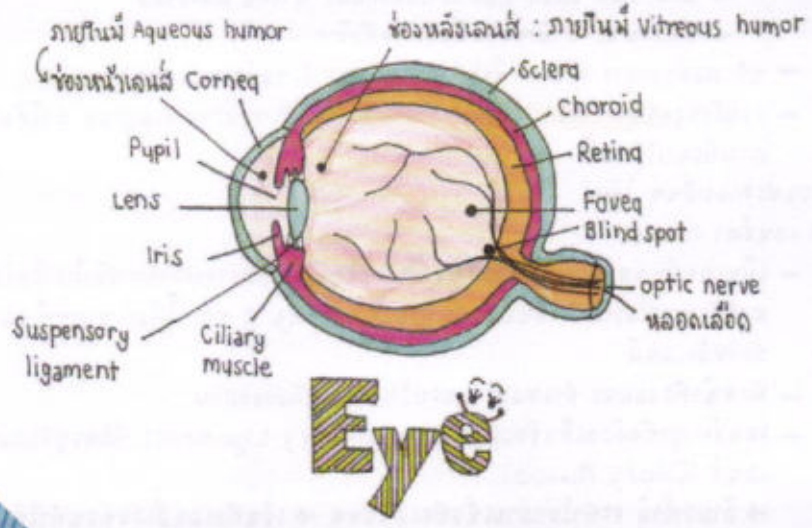
- เป็นกลุ่มอาการที่เกิดจากการที่สมองส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดทำงานมากเกินไป
- ไม่ใช่โรคติดต่อทั้งภายนอกและทางพันธุกรรม แต่สามารถเกิดได้กับทุกเพศและทุกวัย
- รักษาด้วยการให้ยากันชัก บางรายอาจไม่เกิดอาการอีก แต่บางรายอาจต้องใช้ยากันชักตลอดชีวิต

โรคไขสันหลัง (Spinal Cord Disease)

- เป็นอาการบาดเจ็บและเสียหายของเซลล์ไขสันหลัง มักทำให้กล้ามเนื้ออ่อนแรง ปวดหลังมาก แขนขากระตุก
- สาเหตุเกิดจากอุบัติเหตุที่กระดูกสันหลัง เป็นเนื้องอก หรือติดเชื้อไวรัสรุนแรง เช่น โปลิโอ หัด และคางทูม
- จัดเป็นโรคที่รุนแรง เนื่องจากส่งผลกระทบต่อชีวิตผู้ป่วยค่อนข้างมาก และเสี่ยงพิการตลอดชีวิต

5. อวัยวะรับความรู้สึก

ตา



- เป็นอวัยวะรับแสง (Photoreceptor) จากผนังด้านนอกสุดของตาเข้าไป จะประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ได้แก่
  1) สเคลอรา (Sclera) หรือเปลือกลูกตา
     - ส่วนใหญ่เป็นบริเวณที่ทึบแสง เรียกว่า ตาขาว
     - ช่วยทำให้ลูกตาคงรูปอยู่ได้ เพราะมีความเหนียวและหนา ไม่ยืดหยุ่น
     - มีกระจกตา (Cornea) ที่สามารถเปลี่ยนได้ อยู่บริเวณด้านนอก มีลักษณะใส สีดำนูน และชื้นอยู่เสมอ
  2) คอรอยด์ (Choroid) เป็นบริเวณที่มีเส้นเลือดมาเลี้ยงเป็นจำนวนมาก
     - มีสารสีหรือรงควัตถุกระจายอยู่เพื่อกรองแสงไม่ให้ผ่านจอตาเข้าไปที่ด้านหลังโดยตรง
       >> เป็นสารสีที่ทำให้ตาของเรามีสีแตกต่างกันไปตามสีของสารนั้น
     - ส่วนด้านหน้า เรียกว่า มานตา (Iris) เป็นทางให้แสงเข้าสู่ตา
     - ช่องที่เปิดรับแสงเข้าไปในเลนส์ตา เรียกว่า รูม่านตา (Pupil)
  3) เรตินา (Retina) หรือจอตา
     - มีเซลล์รับแสง 2 ชนิด ได้แก่
       1) เซลล์รูปแท่ง (Rod Cell)
          → มีความไวในการรับแสง
          → ไม่มีความสามารถในการแยกสี
          → มีประมาณ 125 ล้านเซลล์ต่อตาหนึ่งข้าง
       2) เซลล์รูปกรวย (Cone Cell)
          → ไม่ไวต่อแสง แยกสีได้ในที่ที่มีแสงสว่าง
          → มี 3 ชนิด ได้แก่ ชนิดที่รับแสงสีแดง น้ำเงิน และเขียว
          → มีประมาณ 6 ล้านเซลล์ต่อตาหนึ่งข้าง
     - บริเวณตรงกลาง เรียกว่า โฟเวีย (Fovea) มีเซลล์รูปกรวยอยู่จำนวนมาก
     - รวมถึงมีจุดบอด (Blind Spot Fovea) ที่ไม่มีเซลล์รับแสงอยู่เลย ทำให้มองไม่เห็นภาพที่ตกบริเวณนี้
- ส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่
  1) เลนส์ตา (Lens)
     - เป็นเลนส์นูนอยู่ค่อนมาทางด้านหน้าของนัยน์ตา ถัดจากกระจกตาเข้าไปเล็กน้อย เลนส์ตามีลักษณะใสรวมถึงเป็นส่วนที่แบ่งลูกตาออกเป็น 2 ช่อง ได้แก่ ช่องหน้าเลนส์ และช่องหลังเลนส์
     - ทำหน้าที่รวมแสง หักเหแสง และปรับระยะโฟกัสของภาพ
     - เลนส์ตาถูกยึดด้วยเอ็นยึดเลนส์ (Suspensory Ligament) ที่ติดอยู่กับกล้ามเนื้อยึดเลนส์ (Ciliary Muscle)
       → ถ้ามองใกล้ จะทำให้กล้ามเนื้อยึดเลนส์หด → เอ็นยึดเลนส์จะหย่อนทำให้เลนส์ตานูน
       → ถ้ามองไกล จะทำให้กล้ามเนื้อยึดเลนส์คลาย → เอ็นยึดเลนส์จะตึง ทำให้เลนส์ตาแบน

2) ช่องภายในลูกตา (Vitreous Chamber)

- แบ่งออกเป็น 2 ช่อง คือ ช่องหน้าเลนส์ และช่องหลังเลนส์
- มีของเหลวเมือกใส เรียกว่า วิสเทรียสฮิวเมอร์ (Vitreous Humor) อยู่ในช่องหลังเลนส์ และเอเควียสฮิวเมอร์ (Aqueous Humor) ภายในช่องหน้าเลนส์ ที่ทำหน้าที่
  - >> ช่วยในการคงรูปร่างของลูกตา
  - >> ช่วยในการหักเหของแสงที่เข้ามา โดยค่าดัชนีหักเหของแสงที่ได้จะมีค่าที่สูงมาก

○ สรุปกลไกการมองเห็น ดังนี้

- การมองเห็นจากการทำงานของเซลล์รูปแท่ง

1) เมื่อแสงมากระทบที่เซลล์รูปแท่งจะส่งผลให้โมเลกุลของโรดอปซิน (Rhodopsin) เปลี่ยนแปลงไป

→ โรดอปซิน (Rhodopsin)

- เป็นสารสีม่วงแดงที่เยื่อหุ้มของเซลล์รูปแท่ง
- ประกอบด้วยโมเลกุลของเรตินอล (Retinal) และโปรตีนออปซิน (Opsin) เกาะกันอยู่

→ เรตินอล (Retinal)

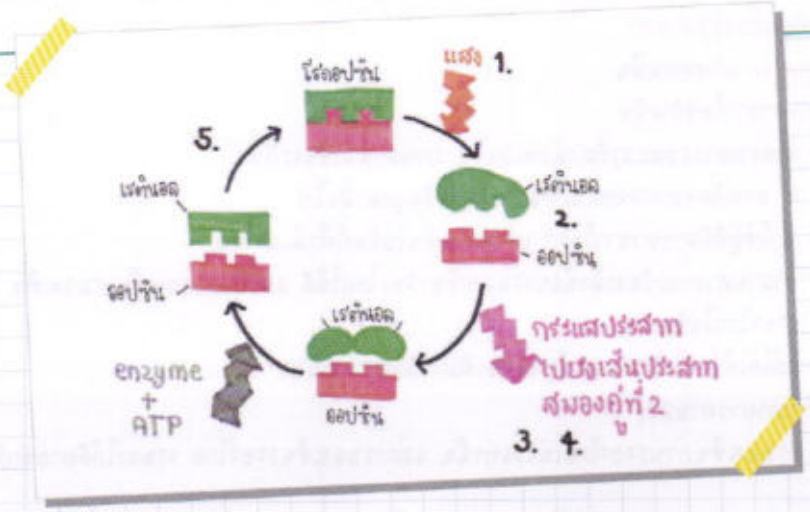
- เป็นสารที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากวิตามินเอในร่างกาย
- ถ้าร่างกายขาดวิตามินเอ จะทำให้ตาพร่าเวลากลางคืนแม้กระทั่งตอนที่มีแสงมาก

2) แสงที่เข้ามาจะทำให้เรตินอลกับออปซินในโรดอปซินเกาะกลุ่มกันไม่ได้

3) ทำให้กระแสประสาทผ่านเข้าไปที่เส้นประสาทตา (เส้นประสาทสมองคู่ที่ 2) ได้

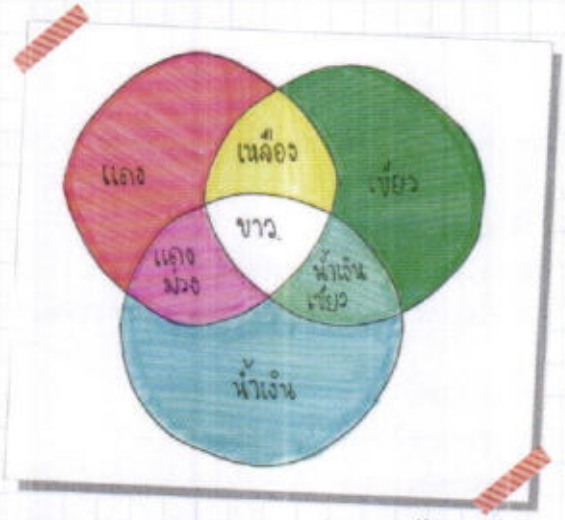
4) จากนั้นกระแสประสาทจะถูกส่งให้สมองแปลผลต่อไป

5) เมื่อไม่มีแสง เรตินอลกับออปซินจะเกาะกลุ่มรวมกันเป็นโรดอปซินตามเดิม



— การมองเห็นจากการทำงานของเซลล์รูปกรวย

- สาเหตุที่ทำให้เราสามารถมองเห็นสีต่างๆ ได้มากกว่า 3 สีที่เซลล์รูปกรวยมี เพราะเกิดจากการผสมของแสงสีต่างๆ
  >> ในเวลาที่เซลล์รูปกรวยทั้ง 3 ชนิดถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความเข้มของแสงสีที่เข้ามากระทบในเวลานั้นต่างกัน เช่น การที่เรามองเห็นสิ่งของที่มีสีเหลือง เพราะเซลล์รูปกรวยชนิดที่ไวต่อแสงสีเขียวและแดงถูกกระตุ้นพร้อมกัน



- อาการตาบอดสี เกิดจากความผิดปกติของเซลล์รูปกรวยที่ไวต่อสีนั้นๆ
  >> บางครั้งอาจเป็นอาการตาบอดสีเพียงบางสี หรืออาจจะมองไม่เห็นทุกสี
  >> ส่วนใหญ่จะพบอาการตาบอดสีเขียวและสีแดง และพบในผู้ชายมากกว่า
  >> แต่ในปัจจุบันเริ่มมีการผลิตแว่นตาสำหรับผู้ที่มีอาการตาบอดสีให้สามารถมองเห็นสีได้

○ ภาวะผิดปกติเกี่ยวกับสายตา

— สายตายาว แบ่งออกเป็น

1) สายตายาวโดยกำเนิด
   >> เกิดจากการรวมแสงที่ตาน้อยเกินไป ภาพตกหลังชั้นเรตินา
      ✶ อาจเกิดจากกระจกตาแบนเกินไป หรือลูกตาสั้นไป
   >> ทำให้ผู้ที่มีสายตายาวโดยกำเนิดมองเห็นไม่ชัดทั้งใกล้และไกล
   >> ถ้าสายตายาวเพียงเล็กน้อยจะมองเห็นระยะไกลได้ดี แต่เมื่ออายุมากขึ้นจะมองเห็นระยะไกลไม่ชัดเจน
   >> แก้ไขได้โดยใส่แว่นเลนส์นูนเพื่อเพิ่มกำลังการรวมแสง

2) สายตายาวตามอายุ
   >> จะมองเห็นภาพระยะใกล้ไม่ชัดเท่านั้น แต่การมองเห็นระยะไกล จะมองได้ดีตามปกติ

— สายตาสั้น

>> เกิดจากการรวมแสงที่ตามากเกินไป ทำให้ภาพตกก่อนถึงเรตินา

* อาจเกิดจากกระจกตาโค้งมากเกินไป หรือลูกตายาวเกินไป

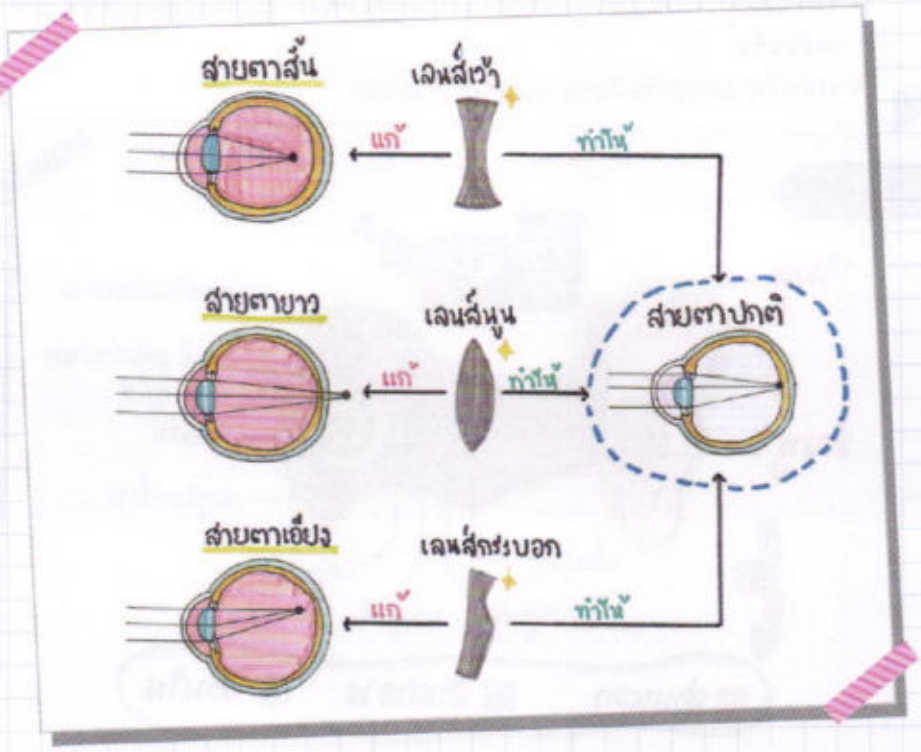
>> ทำให้ผู้ที่มีสายตาสั้นมองภาพระยะใกล้ได้ชัดกว่าการมองระยะไกล

>> แก้ไขได้โดยการใส่แว่นเลนส์เว้าเพื่อลดกำลังการรวมแสง

— สายตาเอียง

>> เกิดจากกำลังการรวมแสงที่ตาในแต่ละด้านไม่เท่ากัน เพราะกระจกตาไม่กลม

>> แก้ไขได้โดยการใส่แว่นสายตาที่ใช้เลนส์ทรงกระบอก (Cylindrical Lens)



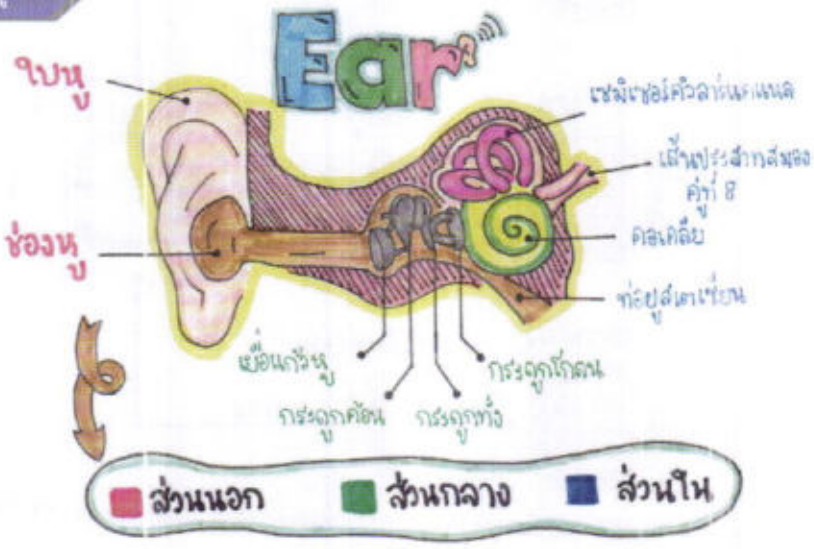
○ โรคตาต้อ แบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่

— ต้อกระจก (Cataract)

- ส่วนใหญ่เกิดจากอายุมากขึ้น จากอุบัติเหตุที่เกิดกับดวงตา
- เกิดจากการที่เลนส์ตาขุ่นจนทำให้เห็นภาพไม่ชัด เป็นหมอกควันขาว ถ้าไม่รักษา อาจทำให้ตาบอดสนิทได้

- ต้อลม (Pinguecular)
  - ส่วนใหญ่เกิดจากถูกสิ่งระคายเคือง เช่น ฝุ่น ลม และอากาศ
  - ทำให้เกิดเยื่อสีขาวหรือเหลืองบริเวณตาขาวใกล้กับตาดำ ทำให้เคืองตาบ่อย แต่ไม่ถึงขั้นตาบอด
- ต้อเนื้อ (Pterygium)
  - เป็นอาการที่ต่อมาจากต้อลม แต่เยื่อที่เกิดขึ้นลามจนมาถึงกระจกตาดำ
  - ส่วนใหญ่เกิดจากการสัมผัสกับสิ่งระคายเคืองมาเป็นเวลานานมาก แต่จะไม่ถึงขั้นตาบอดเช่นกัน
- ต้อหิน (Glaucoma)
  - เกิดจากมีความดันในลูกตาสูง ทำให้ระบายของเหลวในตาออกได้น้อยจนทำให้ลูกตาแข็งเหมือนหิน
  - จะทำให้สายตาเสียขึ้นเรื่อยๆ และอาจตาบอดสนิท

หู



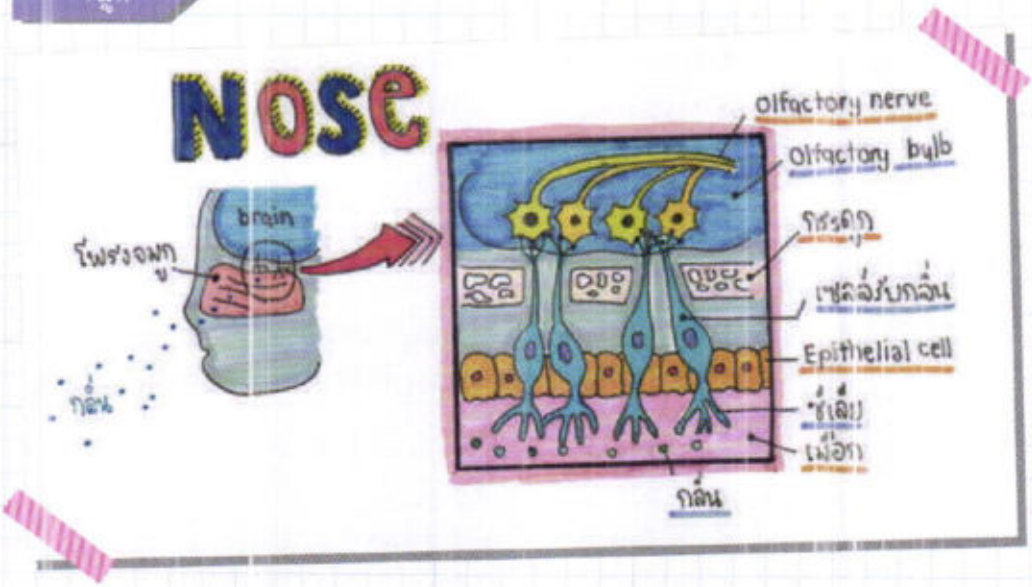
- ทำหน้าที่รับเสียง และเกี่ยวข้องกับการทรงตัว แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1) หูส่วนนอก ประกอบด้วย
   - ใบหู
     >> เป็นส่วนที่อยู่ด้านนอกสุด บริเวณตรงกลางจะมีกระดูกอ่อนค้ำอยู่
     >> ทำหน้าที่รับคลื่นเสียงและเป็นช่องให้คลื่นเสียงเดินทางผ่าน

- ช่องหู หรือรูหู
  >> ทำหน้าที่รวมเสียงไปยังแก้วหู มีขนและต่อมสร้างไขมันอยู่ภายใน รวมทั้งป้องกันอันตรายจากฝุ่นหรือสิ่งสกปรกด้านนอกและสร้างไขมาเคลือบไม่ให้ช่องหูแห้ง
  >> เมื่อมีการสะสมอยู่นาน ไขที่ถูกสร้างออกมา จะกลายเป็นขี้หู
- เยื่อแก้วหู (Ear Drum หรือ Tympanic Membrane)
  >> เป็นเยื่อบางๆ กั้นระหว่างหูส่วนนอกกับหูส่วนกลาง
  >> จะสั่นเหมือนกับหน้ากลองเมื่อคลื่นเสียงเดินทางผ่าน

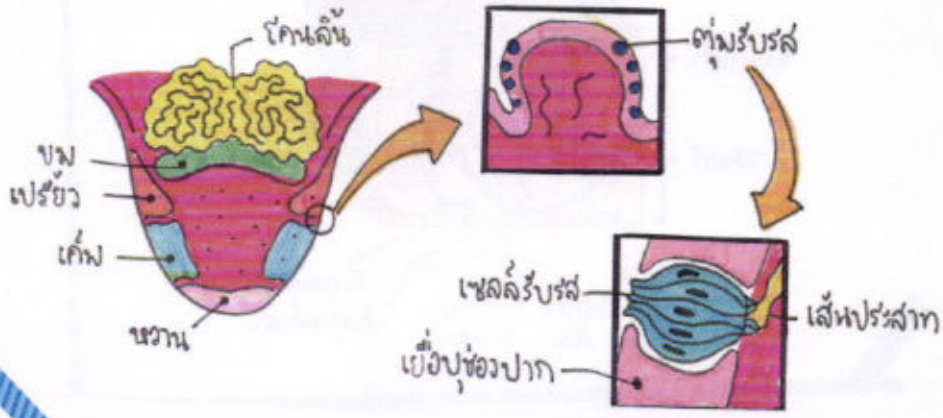
2) หูส่วนกลาง
- เป็นส่วนที่เป็นโพรง เชื่อมต่ออยู่กับโพรงจมูก
- ประกอบด้วยกระดูก 3 ชิ้น ได้แก่ กระดูกค้อน (Milieus) กระดูกทั่ง (Incurs) และกระดูกโกลน (Stapes) ซึ่งเป็นกระดูกเล็กๆ ที่ยึดกันอยู่ เพื่อทำหน้าที่ส่งต่อแรงสั่นสะเทือนที่มาจากเยื่อแก้วหู
  >> สรุปการทำงานของกระดูกทั้ง 3 ชิ้น ดังนี้
    1) เมื่อเยื่อแก้วหูสั่น กระดูกค้อนและกระดูกทั่งจะสั่นด้วย
    2) กระดูกค้อนและกระดูกทั่งจะส่งแรงสั่นไปที่กระดูกโกลน
    3) แรงสั่นจากกระดูกโกลนจะเข้าไปที่หูส่วนในต่อไป → โดยหูส่วนในจะขยายแอมพลิจูดของคลื่นเสียงได้มากขึ้นประมาณ 22 เท่า
- นอกจากนี้ยังมี ท่อยูสเตเชียน (Eustachian Tube)
  >> เป็นท่อตีบที่ต่ออยู่กับคอหอย ทำหน้าที่ปรับความดันของเยื่อแก้วหูทั้งสองข้างให้เท่ากันในขณะที่เคี้ยวหรือกลืนอาหาร หรือความดันอากาศในหูส่วนกลางกับภายนอกต่างกันอย่างรวดเร็ว
  >> เพราะถ้าความดันภายในหูและภายนอกต่างกันจะทำให้ปวดหู หรือหูอื้อ

3) หูส่วนใน ประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ชุด ได้แก่
- ชุดที่ใช้ฟังเสียง ภายในมีคอเคลีย (Cochlea)
  >> ข้างในคอเคลียมีของเหลว เมื่อคลื่นเสียงเข้ามากระทบของเหลวในคอเคลียจะสั่น แล้วเปลี่ยนคลื่นเสียงที่เข้ามาให้กลายเป็นกระแสประสาท จากนั้นจึงส่งไปทางเส้นประสาทรับเสียง (เส้นประสาทสมองคู่ที่ 8)
  แล้วจึงส่งต่อไปให้สมองส่วนซีรีบรัมแปลผล
- ชุดที่ใช้ในการทรงตัว ภายในมีเซมิเซอร์คิวลาร์แคแนล (Semicircular Canal) หรือหลอดครึ่งวงกลม
  >> เป็นหลอดที่มีลักษณะเป็นครึ่งวงกลม 3 หลอดวางตั้งฉากกันอยู่ ข้างในมีของเหลว และมีเซลล์ขน
  >> ส่วนปลายของหลอดจะมีส่วนที่พองเป็นกระเปาะ เรียกว่า แอมพูลลา (Ampulla)
  >> ทำหน้าที่รับรู้เกี่ยวกับการทรงตัวและเคลื่อนไหวของร่างกาย รวมถึงการเอียงและทิศทางของศีรษะ
  >> เวลาที่เราเคลื่อนไหว ของเหลวที่อยู่ข้างในจะไปกระทบกับเซลล์ขนที่ไวต่อการสั่นสะเทือน ทำให้เกิดการส่งกระแสประสาทไปที่สมองส่วนซีรีบรัมต่อไป



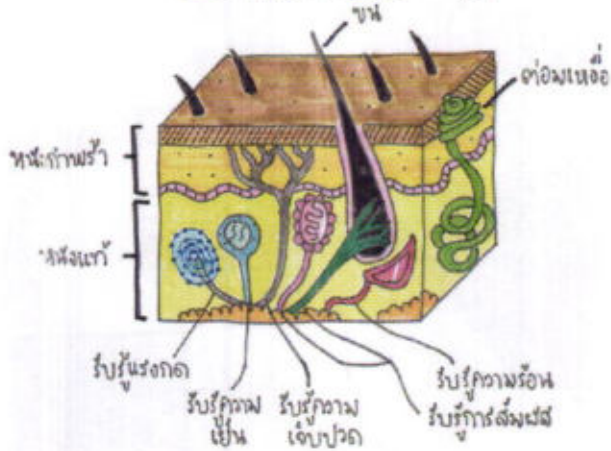
- จมูกจะสามารถรับกลิ่นได้ เพราะอากาศที่เราสูดเข้าไปสัมผัสกับอวัยวะดังต่อไปนี้
  - เซลล์ประสาทรับกลิ่น (Olfactory Receptor Cell)
    - แทรกอยู่ที่เยื่อบุจมูก (Olfactory Membrane) บริเวณเพดานด้านบน ในโพรงจมูก
    - มีหน้าที่เปลี่ยนอากาศที่ได้กลิ่น >> เป็นกระแสประสาท >> ส่งไปตามเส้นประสาทรับกลิ่น
  - ประกอบด้วยเซลล์ 3 ชนิด ได้แก่
    1) เซลล์เส้นขน (Ciliated Sensory Neurons)
    2) เซลล์พื้นฐาน (Basal Cell)
    3) เซลล์ค้ำจุน (Supporting Cell)
  - เส้นประสาทรับกลิ่น (Olfactory Nerve)
    - เป็นเส้นประสาทสมองคู่ที่ 1 ซึ่งผ่านออลแฟกทอรีบัลบ์ที่จะส่งต่อไปให้ซีรีบรัมแปลผลของกลิ่นนั้น

Tongue



- ด้านบนของผิวลิ้นจะมีปุ่มลิ้น (Papilla) ที่เป็นปุ่มขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งมีตุ่มรับรส (Taste Bud) หลายตุ่ม
- ตุ่มรับรสมีเซลล์รับรส (Taste Cell หรือ Gustatory Cell) ที่ต่อออยู่กับใยประสาท
- การแปลความรู้สึกด้านรสชาติ
  - เริ่มจากมีการกระตุ้นที่ตุ่มรับรส >> เกิดเป็นกระแสประสาท >> ส่งกระแสประสาทนั้นไปยังศูนย์รับรสที่สมองส่วนซีรีบรัม (ผ่านทางเส้นประสาทสมองคู่ที่ 7 และ 9) >> เกิดการแปลผลรสชาตินั้น
- มนุษย์รับรู้รสได้ 5 รส คือ
  - รสเปรี้ยว (Sour) → เกิดจากความเป็นกรดของสาร
  - รสหวาน (Sweet) → เกิดจากสารให้ความหวาน เช่น น้ำตาล และกรดอะมิโน
  - รสเค็ม (Salty) → เกิดจากไอออนบวกของเกลือ
  - รสขม (Bitter) → เกิดจากสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุล และสารอัลคาลอยด์ เช่น ควินีน และคาเฟอีน
  - รสอร่อยหรืออูมามิ (Umami) → เกิดจากรสชาติที่มีความแตกต่างจากรสเปรี้ยว หวาน เค็ม และขม
- เชื่อว่ามนุษย์มีการรับรสได้ไวที่สุดเพราะเป็นกลไกการป้องกันตัว เนื่องจากอาหารที่เป็นพิษส่วนมากจะมีรสขม

Skin ที



- ผิวหนังของมนุษย์แบ่งเป็น 2 ชั้น ได้แก่
  - หนังกำพร้า (Epidermis)
    - อยู่ชั้นบนสุดและบางมาก มีเซลล์ซ้อนกันเป็นชั้นๆ คอยแบ่งตัวกันขึ้นไปเรื่อยๆ
    - เซลล์ชั้นบนสุดของหนังกำพร้าจะกลายเป็นขี้ไคลหลุดออกไป
    - ในหนังกำพร้ามีเซลล์ที่เรียกว่า 'เมลานิน (Melanin)' ทำให้คนมีสีผิวแตกต่างกัน
    - เป็นทางผ่านของรูเหงื่อ ไขมัน และเส้นขน หนังกำพร้าไม่มีหลอดเลือด เส้นประสาท หรือต่อมต่างๆ
  - หนังแท้ (Dermis)
    - อยู่ชั้นล่างและหนากว่าหนังกำพร้า มีต่อมที่รับความรู้สึกต่างๆ อยู่ในชั้นนี้
    - ประกอบไปด้วย เนื้อเยื่อคอลลาเจน (Collagen) อีลาสติน (Elastin) และหลอดเลือด เส้นประสาทต่างๆ
- นอกจากทำหน้าที่ป้องกันและห่อหุ้มร่างกายแล้ว ผิวหนังยังทำหน้าที่รับความรู้สึกต่างๆ ด้วย เช่น รับความร้อน ความเย็น ความเจ็บปวด แรงกด

บทที่ 15
ระบบการเคลื่อนที่

1. ระบบโครงร่างของสัตว์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

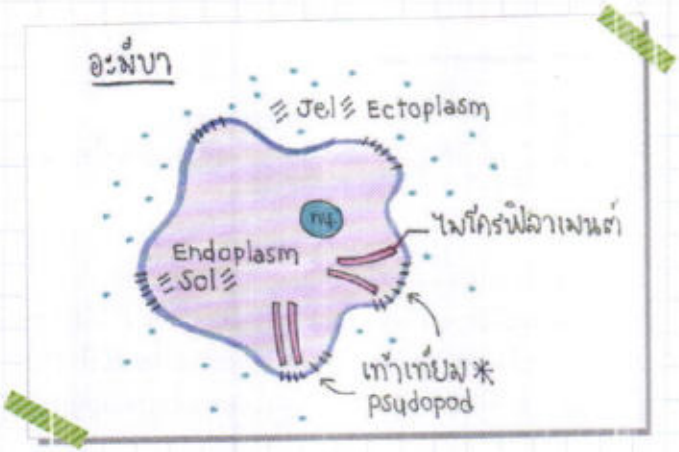
- ระบบโครงร่างแข็ง (Hard Skeleton) แบ่งได้เป็น
  - ระบบโครงร่างแข็งภายนอก (Exoskeleton)
    - สารที่เป็นเปลือกแข็งภายนอกจะเป็นสารประเภทไคติน (Chitin) และโปรตีน (Protein) ช่วยในการค้ำจุนร่างกายและช่วยในการรักษาน้ำในร่างกาย
    - ส่วนใหญ่พบในสัตว์ประเภทไฟลัมอาร์โทรโพดา (Arthropoda) เช่น หอย กุ้ง ปู และแมลง
  - ระบบโครงร่างแข็งภายใน (Endoskeleton)
    - เป็นโครงร่างแข็งที่อยู่ในเนื้อเยื่อภายในร่างกาย
    - พบในสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง (Vertebrate) ทุกชนิด
- ระบบที่มีโครงร่างเป็นน้ำ (Hydroskeleton or Hydrostatic Skeleton)
  - เป็นโครงร่างที่ใช้ของเหลวเป็นส่วนประกอบ เช่น น้ำ และเลือด
  - ส่วนใหญ่พบในสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง (Invertebrate) และพวกสัตว์ในไฟลัมไนดาเรีย (Cnidaria) เช่น ไฮดรา หนอนตัวกลม และแมงกะพรุน

2. การเคลื่อนที่ของจุลินทรีย์และสัตว์

จุลินทรีย์ เช่น

- อะมีบา
  - มีการเคลื่อนที่แบบที่เรียกว่า อะมีบอยด์ (Amoeboid Movement) เป็นการเคลื่อนที่โดยใช้เท้าเทียม (Pseudopodium) ซึ่งได้มาจากการไหลของไซโตพลาสซึม แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ
    1) เอ็กโตพลาสซึม (Ectoplasm) หรือชั้นนอก ที่เรียกว่า เจล (Gel)
    2) เอนโดพลาสซึม (Endoplasm) หรือชั้นใน ที่เรียกว่า โซล (Sol)
    >> โดยเริ่มจากการที่ไมโครฟิลาเมนต์ (ที่มี แอกติน เป็นส่วนประกอบ) ซึ่งอยู่ในไซโตพลาสซึม

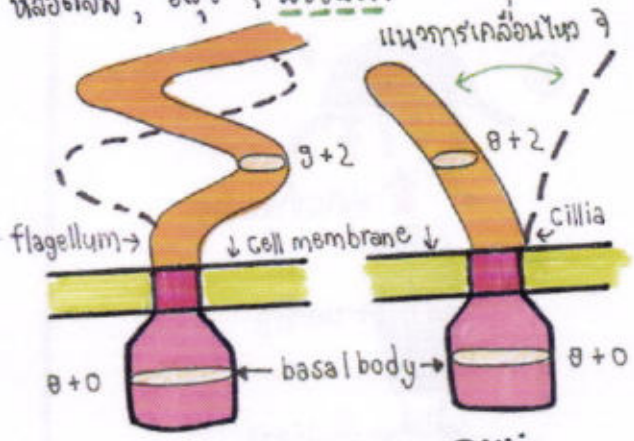
>> รวมตัวและแยกตัวจากกัน ทำให้ชั้นเจลเปลี่ยนเป็นชั้นโซลและเปลี่ยนสลับกันไปมา
>> เกิดการไหลและเคลื่อนที่ไป ส่วนการดันเยื่อหุ้มเซลล์นั้นทำให้เกิดเป็นเท้าเทียมนั่นเอง



- ยูกลีนา
  - ใช้แฟลกเจลลัม (Flagellum) 1 – 2 เส้น ซึ่งเป็นเส้นยาวๆ พัดโบกไปมา เคลื่อนที่เหมือนกับการว่ายน้ำ
  - แฟลกเจลลัมจะมีการเคลื่อนไหวแบบคลื่นอยู่เสมอ
  - ถ้าไม่มีน้ำ จะใช้การยืดหดของแฟลกเจลลัมทำให้เกิดคลื่นแทน

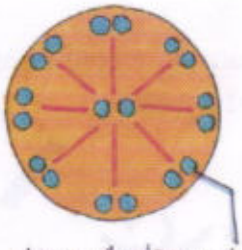
- พารามีเซียม
  - ใช้ซีเลีย (Cilia) ซึ่งเป็นเส้นเล็กๆ ที่ยื่นออกมาจากตัวพารามีเซียม โดยเฉพาะตรงบริเวณร่องปาก
  - ซีเลียเคลื่อนไหวแบบแกว่งไปมา โค้งแล้วตวัดขึ้นและไปทางด้านหลัง ทำให้พารามีเซียมเคลื่อนไปด้านหน้า

*การเคลื่อนไหว โดย flagellum หรือ cillia *
พบใน โพรโทซัวเช่น ยูกลีนา พาราพีเซียม
พลานาเรีย , ในสัตว์ชั้นสูง เช่น ท่อนำไข่
หลอดลม , อสุจิ , พืชชั้นต่ำ



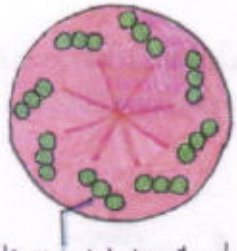
Flagellum VS Cillia

cillia
flagellum



ประกอบด้วยท่อ Microtubules
เรียงกันเป็นกลุ่ม ด้านนอก 9 กลุ่ม
+ ด้านในอีก 2 ท่อ = 9+2

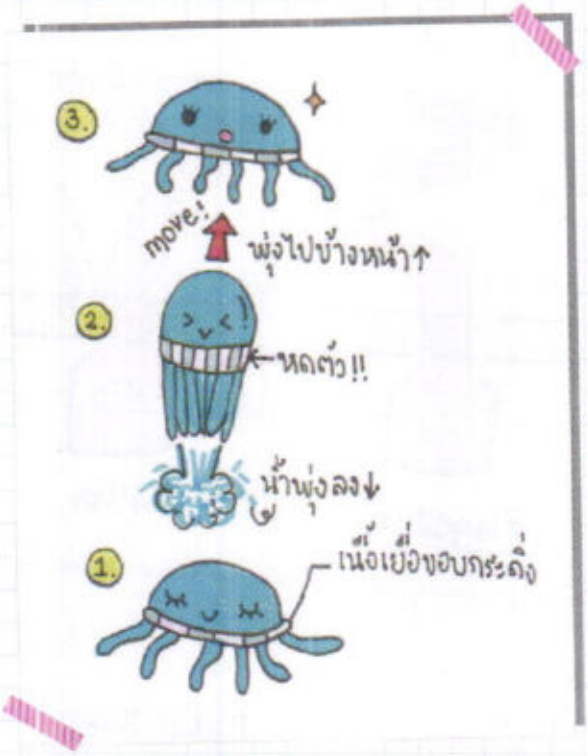
Basal Body



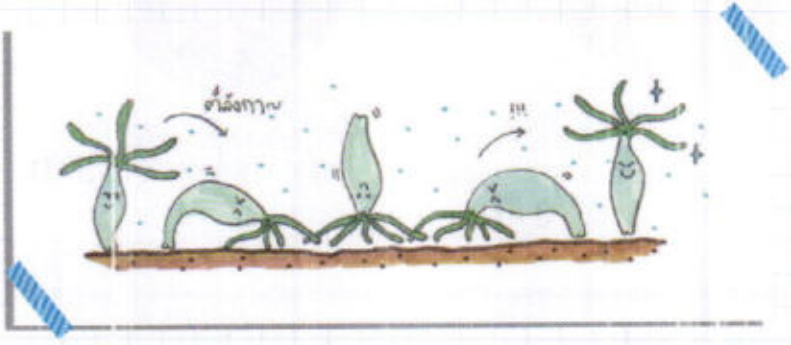
ท่อ Microtubules เรียงต่อกัน
9 กลุ่ม ไม่มีตรงกลาง = 9+0

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น

- แมงกะพรุน
  - ใช้เนื้อเยื่อขอบกระดิ่งในการกางแล้วหุบเหมือนกับร่มเมื่อขับน้ำออก
    - ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไปในทิศตรงกันข้ามกับด้านที่ขับน้ำออก

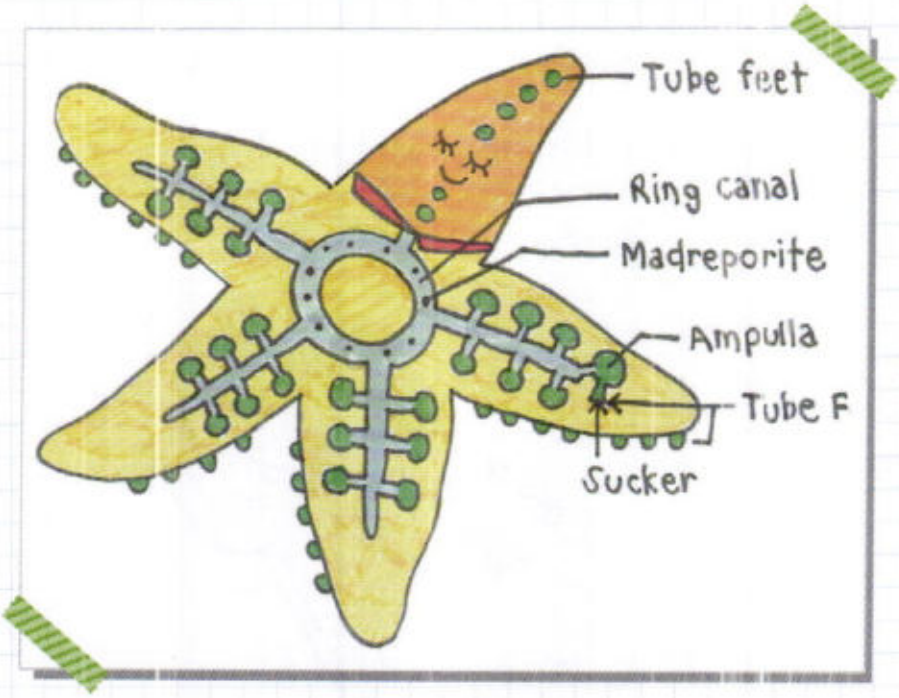


- ไฮดรา
  - ใช้การคลาน.ไปทีละนิด คล้ายการเดินของหนอน (Measuring Worm) ในการเคลื่อนที่
  - อาจนำตัวเองลอยแขวนกับผิวน้ำแล้วลอยตามน้ำไป หรือการตีลังกา

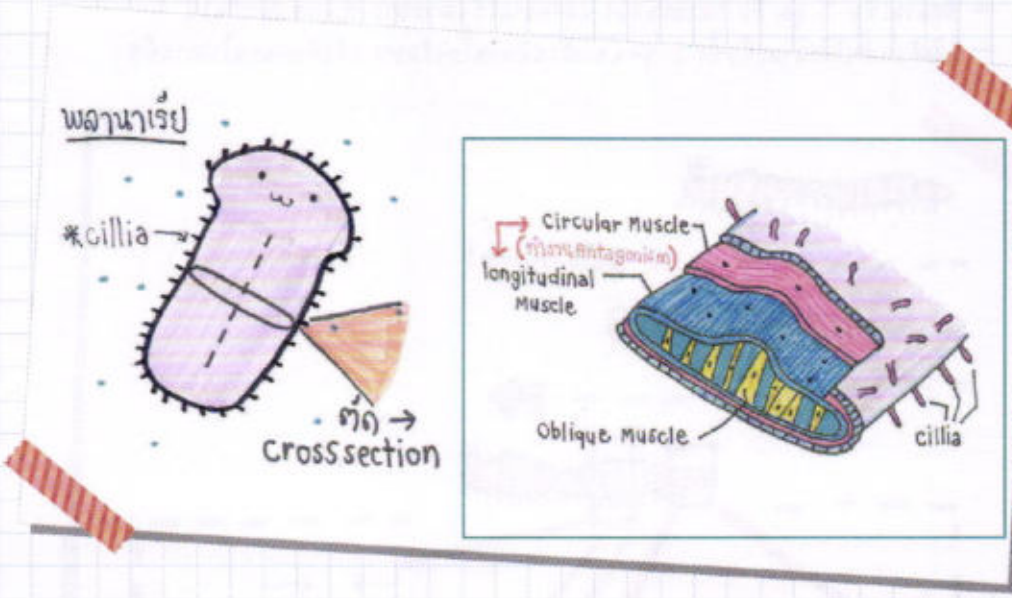


- หมึก
  - ใช้การพ่นน้ำออกจากทางไซฟอน (Siphon) ซึ่งเป็นท่อที่อยู่ด้านล่างของหัวของหมึก ใช้ในการพ่นน้ำ
    >> ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไปในทิศตรงกันข้ามกับด้านที่พ่นน้ำออก
  - หมึกยักษ์จะใช้ตุ่มดูด (Sucker) ที่ติดอยู่บริเวณหนวดเกาะสิ่งอื่นไว้เพื่อช่วยในการเคลื่อนที่

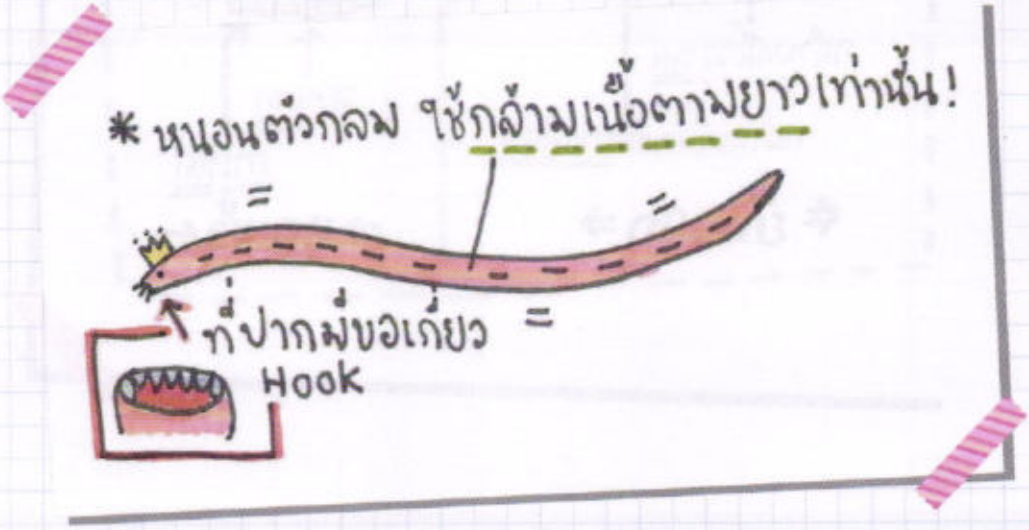
- ดาวทะเล
  - เคลื่อนที่ด้วยการใช้ระบบท่อน้ำ (Water Vascular System)
    - โดยเริ่มจากน้ำจะเข้ามาทางมาดรีโพไรต์ (Madreporite) ที่เป็นเหมือนตะแกรงสำหรับให้น้ำเข้า
      → ผ่านไปยังท่อน้ำวงแหวน (Ring Canal) → ท่อน้ำแนวรัศมี (Radial Canal)
      → ไปจนถึงกระเปาะแอมพูลลา (Ampulla) ที่อยู่ด้านบนของทิวบ์ฟีต (Tube Feet)
    - การที่น้ำเข้ามาแบบนี้จะทำให้เกิดการยืดและหดตัวของทิวบ์ฟีตหลายครั้ง ทำให้เกิดเคลื่อนที่
    - โดยปลายของทิวบ์ฟีต ที่เป็นท่อขนาดเล็กด้านล่างนี้จะมีแผ่นดูด (Sucker) ช่วยในการเกาะพื้นอีกด้วย



- พลานาเรีย
  - มีกล้ามเนื้อ 3 ชุด ได้แก่
    1) กล้ามเนื้อวง (Circular Muscle)
       - อยู่ด้านนอก เรียงเป็นวงรอบลำตัว มีการหดตัวและคลายตัวสลับกันไป
    2) กล้ามเนื้อตามยาว (Longitudinal Muscle)
       - อยู่ด้านใน ขนานไปตามความยาว มีการหดตัวและคลายตัวสลับกันไป
    3) กล้ามเนื้อทแยง (Oblique Muscle)
       - ยึดส่วนบนและส่วนล่างของลำตัว ช่วยให้ตัวของพลานาเรียพลิ้วไปตามน้ำ
  - พลานาเรียเป็นสัตว์จำพวกแรกที่มีกล้ามเนื้อทำงานแบบตรงกันข้าม (Antagonism) คือ กล้ามเนื้อวงและกล้ามเนื้อตามยาว
  - สรุปว่า พลานาเรียเคลื่อนที่ด้วยการลอยตัวโดยใช้กล้ามเนื้อ และยังสามารถใช้ซีเลีย (Cilia) ช่วยในการเคลื่อนที่ได้อีกด้วย

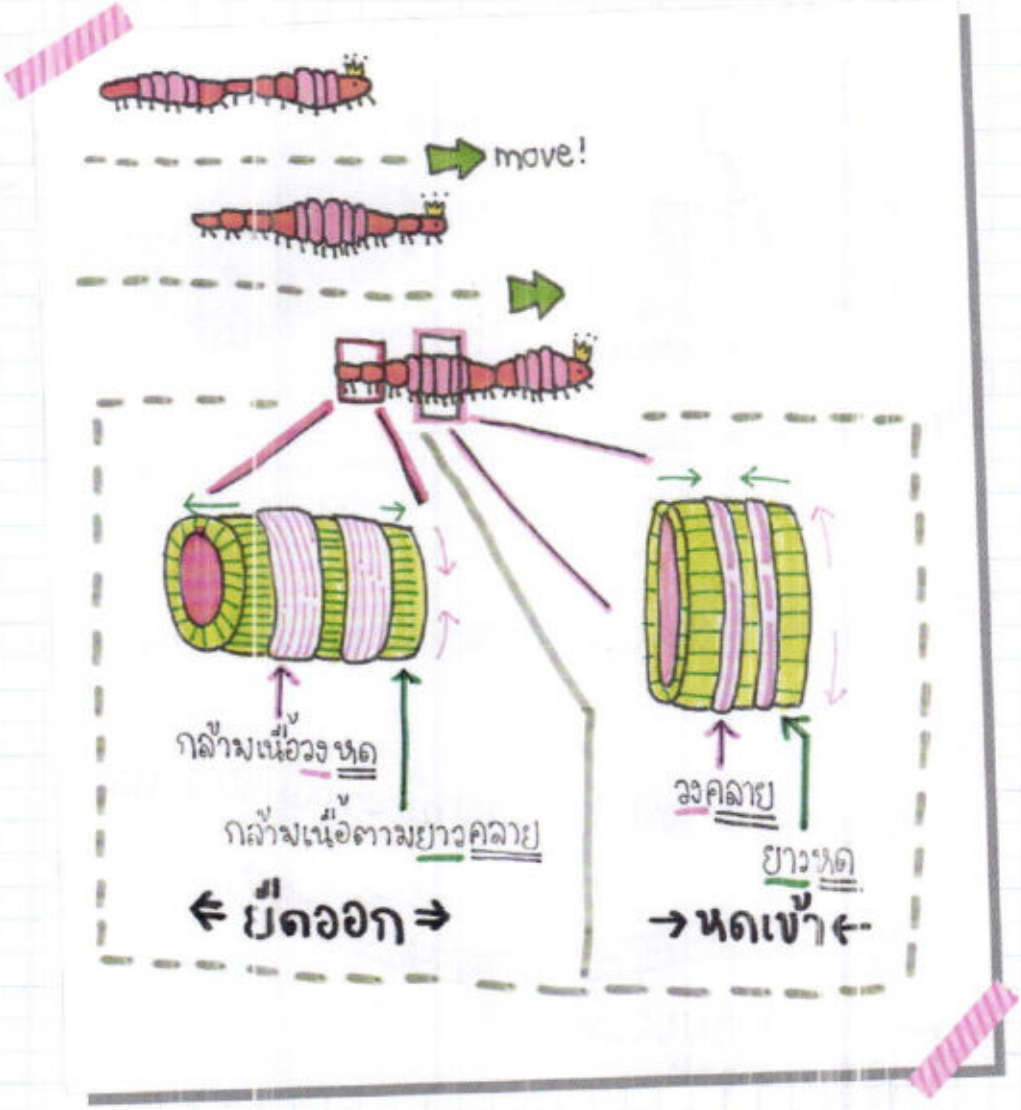


- หนอนตัวกลม
  - ใช้กล้ามเนื้อตามยาวเพียงอย่างเดียว ทำให้มีการงอตัวไปมาขณะที่หนอนตัวกลมเคลื่อนที่

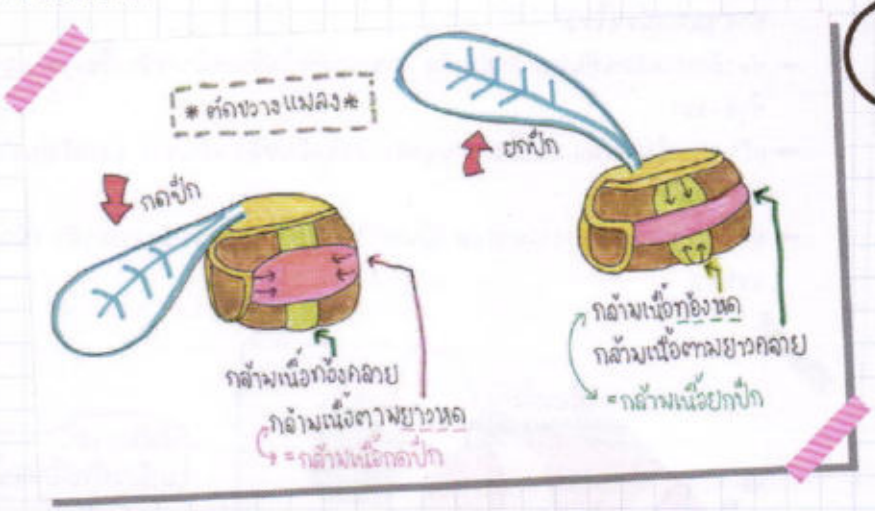


ไส้เดือนดิน

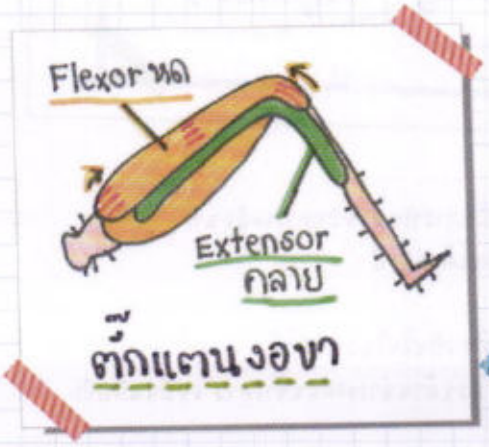
- มีกล้ามเนื้อ 2 ชุด คือ กล้ามเนื้อวง และกล้ามเนื้อตามยาว ทำงานสลับกันไป
- ไส้เดือนดินใช้กล้ามเนื้อทั้ง 2 ชุดนี้หดตัวสลับกันไปเรื่อยๆ เมื่อคืบคลานไปตามพื้น

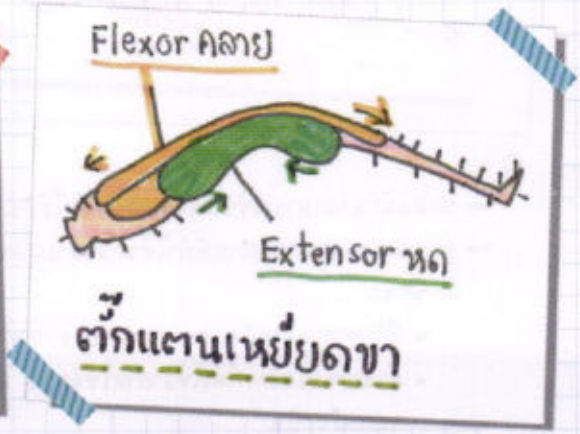


- แมลง
  - เป็นสัตว์มีโครงร่างแข็งภายนอก มีน้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยการเดินด้วยขาหรือใช้ปีกในการบินก็ได้
  - ขณะบินแมลงจะใช้กล้ามเนื้อ 2 ชุด ที่ทำงานแบบตรงกันข้าม (Antagonism) ได้แก่
    1) กล้ามเนื้อกดปีก
    2) กล้ามเนื้อยกปีก



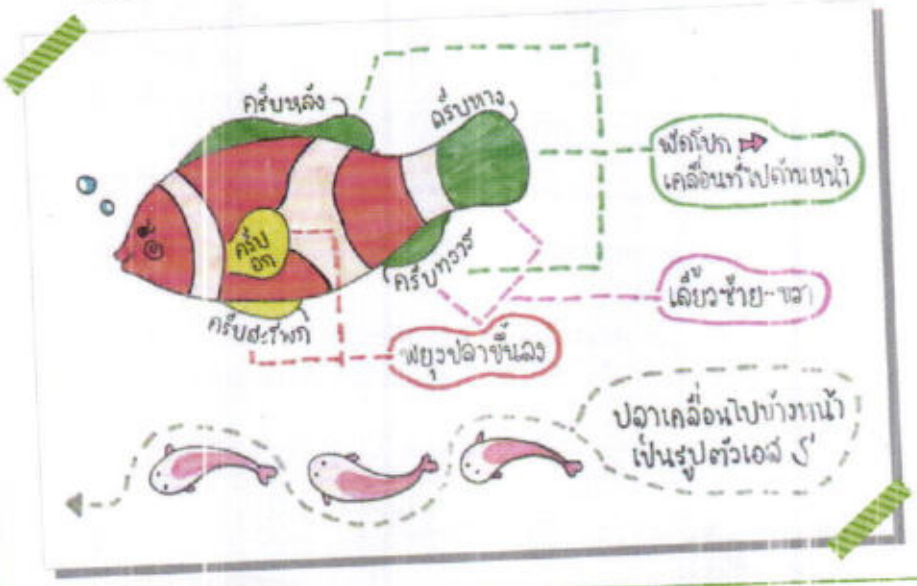
  - สำหรับการเดินหรือกระโดดจะมีกล้ามเนื้ออีก 2 ชุด ที่ทำงานแบบตรงกันข้าม (Antagonism) ได้แก่
    1) กล้ามเนื้องอขา เป็นกล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ (Flexor)
    2) กล้ามเนื้อเหยียดขา เป็นกล้ามเนื้อเอกซ์เทนเซอร์ (Extensor)





สัตว์มีกระดูกสันหลัง เช่น

- ปลา
  - มีการปรับสภาพโครงสร้างร่างกายให้เหมาะสมกับการอาศัยในน้ำ
  - ร่างกายปลามีความหนาแน่นมากกว่าน้ำเล็กน้อย ช่วยให้ปลาสามารถลอยตัวอยู่ในน้ำได้
  - รูปร่างของปลาเน้นความแบน เพรียว ผิวที่เรียบลื่น และมีเมือกที่ช่วยลดความเสียดทานขณะเคลื่อนไหว
  - ปลามีการเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ คือ สามารถว่ายไปข้างหน้า-หลัง ขึ้น-ลง และเลี้ยวซ้าย-ขวา
  - ครีบอก ครีบสะโพก ช่วยในการพยุงตัว ส่วนครีบหลัง ครีบหาง และครีบทวาร ช่วยในการว่ายน้ำ
  - ปลากระดูกแข็งจะใช้กระเพาะลม (Swim Bladder) บริเวณกลางลำตัว เพื่อช่วยในการลอยตัว



- นก
  - ปกติแล้วนกสามารถใช้ขาในการเดินหรือใช้ปีกในการบินสำหรับการเคลื่อนที่
  - ส่วนประกอบของร่างกายที่ทำให้นกสามารถบินได้ มีดังนี้

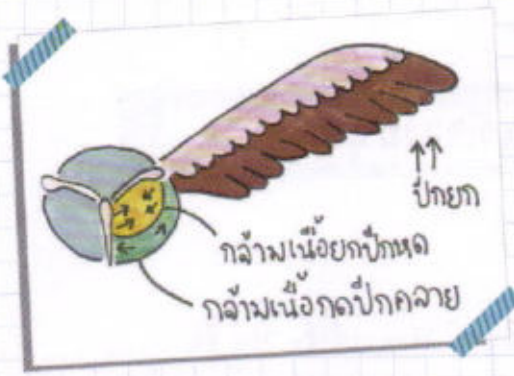
    1) ปีกนก
    - มีลักษณะคล้ายกับแขนของมนุษย์ ช่วยให้นกบินไปในอากาศได้
    - ด้านบนของปีกจะโค้งให้อากาศไหลผ่าน ส่วนด้านล่างจะค่อนข้างยาว เหมือนกับปีกของเครื่องบิน

2) ขนนก

- น้ำหนักเบา มีลักษณะเป็นแผง หรือก้าน (Feather)
- อากาศจะไม่สามารถผ่านขนไปได้ขณะที่นกตีปีกลง ทำให้นกมีแรงในการยกตัวขึ้น

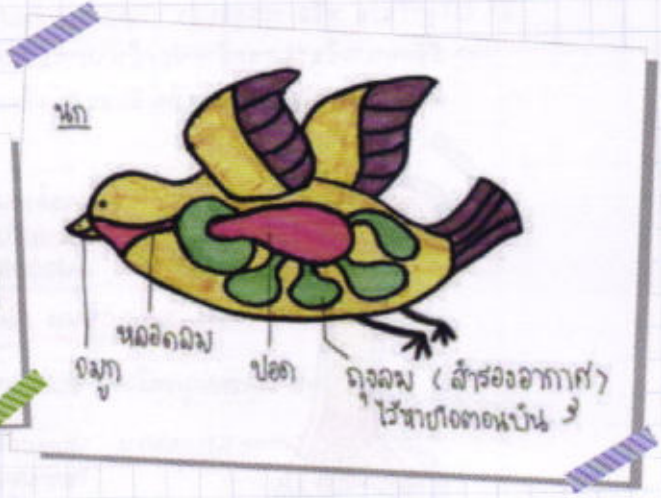
3) กล้ามเนื้อและกระดูกของนก

- กล้ามเนื้อส่วนที่ใช้ในการกดปีกและยกปีกจะทำงานแบบตรงกันข้าม (Antagonism)
- ทำให้นกบินได้เมื่อมีการขยับปีกขึ้น-ลง



4) ลำตัวของนก

- กระดูกของนกมีลักษณะเป็นโพรงทำให้มีน้ำหนักเบา
- นกมีถุงลม (Air Sac) อยู่กลางลำตัว เพื่อช่วยเรื่องความเบาและการหายใจ
  >> เพราะการบินใช้พลังงานสูงมาก ถุงลมจึงช่วยเก็บอากาศสำรองเอาไว้ให้นกใช้



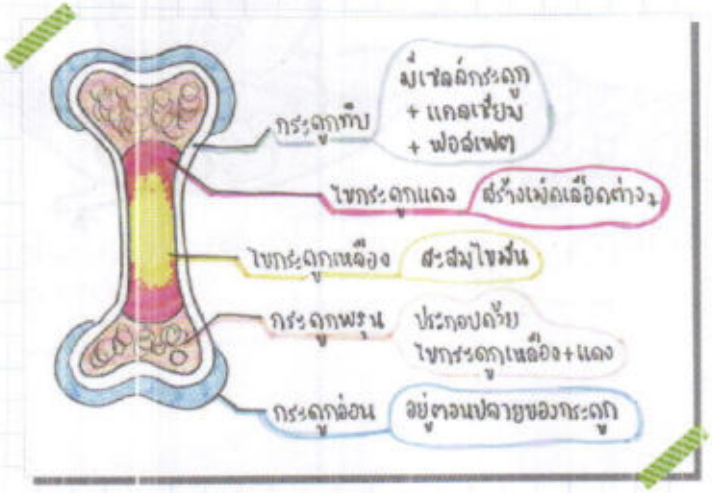
- สัตว์มีกระดูกสันหลังอื่นๆ เช่น
  - กบ และเป็ด มีแผ่นบางระหว่างนิ้วเท้า ทำให้โบกพัดและเคลื่อนที่ในน้ำได้ดี และกบยังใช้ขาหลังกระโดดได้ไกล
  - งู ใช้กระดูกสันหลังในการเคลื่อนที่ มีการเคลื่อนที่แบบตัว S หรือกลับซ้ายไปมา
  - เต่า และตะพาบน้ำ เคลื่อนที่ด้วยการใช้ขาหน้าและขาหลังซึ่งมีลักษณะเหมือนใบพาย
  - เสือชีตาเป็นสัตว์วิ่งเร็วที่สุดในโลก เพราะมีขาหลังที่แข็งแรง ยืดหยุ่นดี และมีกระดูกสันหลังโค้งงอได้มาก

3. การเคลื่อนที่ของมนุษย์

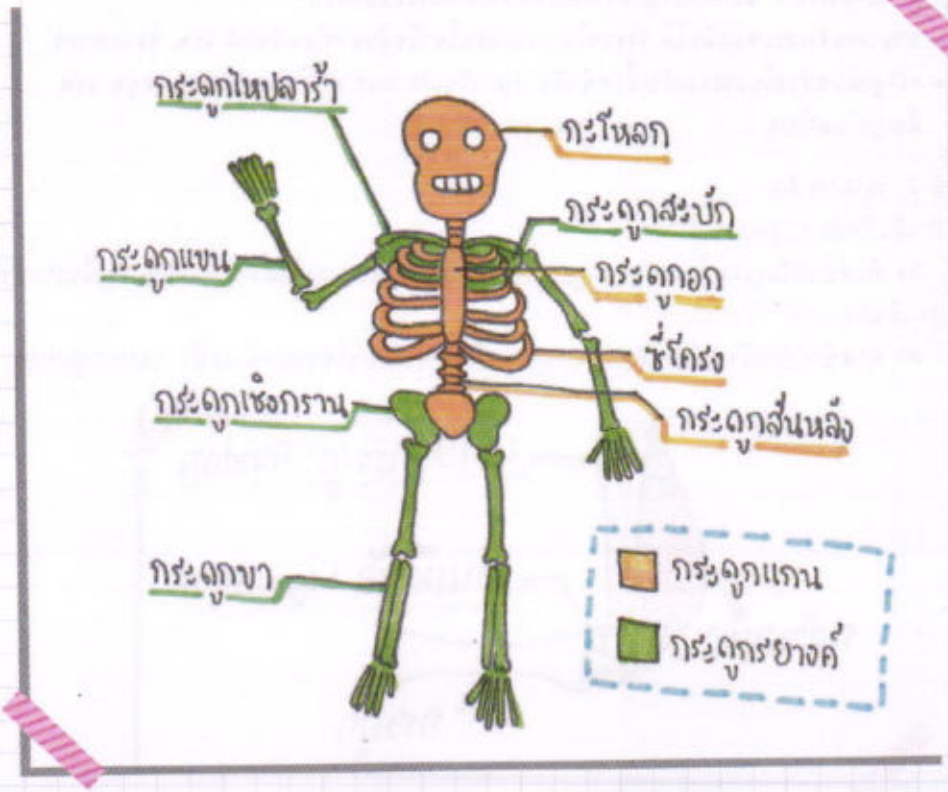
ระบบโครงกระดูก

เช่น

- กระดูก (Bone)
  - เป็นโครงร่างแข็งภายในลำตัวของมนุษย์ มีจำนวนทั้งสิ้น 206 ชิ้น มีเยื่อหุ้มกระดูก หรือ เยื่อกระดูก (Periosteum) ประกอบด้วยเซลล์กระดูกและหลอดเลือดห่อหุ้มอยู่ กระดูกมี 2 ชั้น คือ
    1) กระดูกชั้นนอก หรือ กระดูกทึบ (Compact Bone) → เนื้อกระดูกเรียงกันอัดแน่น ทำให้แทบไม่มีช่องว่างระหว่างชั้นกระดูก
       >> เป็นแหล่งที่สะสมแร่ธาตุ โดยเฉพาะแคลเซียมและฟอสเฟต
    2) กระดูกชั้นใน หรือ กระดูกพรุน (Spongy Bone)
       >> มีลักษณะเป็นรูพรุนคล้ายฟองน้ำเพราะมีช่องว่างระหว่างกระดูก มีไขกระดูกที่สร้างเซลล์ต้นกำเนิดของเซลล์เม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด



- กระดูกแบ่งออกเป็นกลุ่ม ดังนี้



- **กระดูกแกน (Axial Skeleton)** มีจำนวน 80 ชิ้น ประกอบด้วย
  - กะโหลกศีรษะ (Skull) เป็นกระดูกที่ห่อหุ้มเนื้อสมอง เพื่อปกป้องสมองไว้
  - กระดูกสันหลัง (Vertebra) เป็นกระดูกชิ้นเล็กๆ เชื่อมต่อกันด้วยเอ็นและกล้ามเนื้อ
  - กระดูกซี่โครง (Ribs) เกี่ยวข้องกับการหายใจมี 12 คู่ โดยคู่ที่ 11 - 12 เรียกว่า 'ซี่โครงลอย'
  - กระดูกหน้าอก (Sternum) อยู่กลางหน้าอก ป้องกันอวัยวะภายในจากการถูกกระแทก
- **กระดูกรยางค์ (Appendicular Skeleton)** มีจำนวน 126 ชิ้น ประกอบด้วย
  - กระดูกแขน (Upper Extremities) ประกอบด้วยกระดูกต้นแขน กระดูกปลายแขน และกระดูกมือ
  - กระดูกขา (Lower Extremities) ประกอบด้วยกระดูกต้นขา สะบ้า กระดูกแข้ง และกระดูกน่อง
  - กระดูกสะบัก (Scapula) เป็นกระดูกแบน เชื่อมต่อกับไหปลาร้า เป็นส่วนหนึ่งของกระดูกไหล่
  - กระดูกไหปลาร้า (Clavicle) เป็นกระดูกยาว เชื่อมต่อกับสะบัก เป็นส่วนหนึ่งของกระดูกไหล่
  - กระดูกเชิงกราน (Pelvic Girdle) อยู่ล่างสุดของกระดูกสันหลัง

กระดูกอ่อน (Cartilage)

- มีลักษณะผิวเรียบ ลื่นกว่ากระดูกแข็งแต่แข็งแรงกว่ากล้ามเนื้อทั่วไป
  - สามารถผลิตสารหล่อลื่นได้ จึงช่วยในการเคลื่อนไหวในส่วนที่ต้องเสียดสี เช่น ข้อต่อต่างๆ
  - กระดูกอ่อนช่วยในการรองรับน้ำหนักตัว และอวัยวะบางอย่างที่ต้องการความยืดหยุ่น เช่น ติ่งจมูก และใบหู

เอ็น

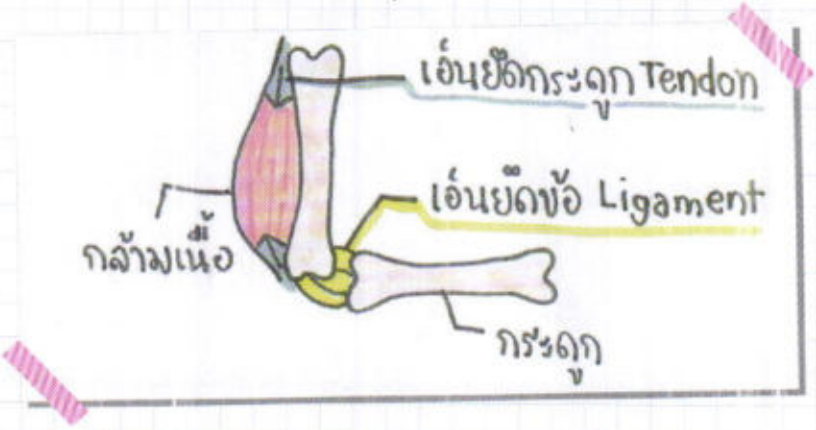
- มี 2 ประเภท คือ

1) เอ็นยึดข้อ (Ligament)

>> ทำหน้าที่ยึดกระดูกให้ติดกับกระดูก ช่วยในการเคลื่อนไหวของข้อต่างๆ รวมถึงกระดูกในร่างกาย

2) เอ็นยึดกระดูก (Tendon)

>> ทำหน้าที่ยึดกล้ามเนื้อให้ติดกับกระดูก ช่วยในการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ และกระดูกต่างๆ



ข้อต่อ (Joint)

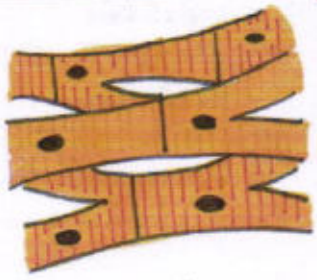
- เป็นส่วนที่กระดูก 2 ท่อนเชื่อมต่อกัน
- ข้อต่ออาจเป็นจุดที่เคลื่อนไหวหรือไม่เคลื่อนไหวก็ได้ ดังนี้
  - ข้อต่อที่ไม่มีการเคลื่อนไหว เช่น กะโหลกศีรษะ
  - ข้อต่อที่เคลื่อนได้ระนาบเดียว หรือแบบบานพับ เช่น ข้อเข่า ข้อศอก
  - ข้อต่อที่เคลื่อนที่ได้ 2 ระนาบ เช่น ข้อมือ
  - ข้อต่อที่เคลื่อนที่ได้ 3 ระนาบ เช่น ข้อสะโพก ข้อไหล่
  - ข้อต่อแบบอานม้า เช่น ข้อนิ้วโป้ง
  - ข้อต่อแบบเดือย เช่น ข้อที่ต้นคอ

- มีกระดูกอ่อนอยู่ตรงปลายข้อต่อ ทำให้เคลื่อนไหวได้ดีขึ้น ลดการเสียดสี
- มีน้ำหล่อลื่น เรียกว่า น้ำไขข้อ (Synovial Fluid) ช่วยลดการเสียดสีระหว่างกระดูกอ่อนแต่ละชิ้น

ระบบกล้ามเนื้อ

เช่น

- เป็นระบบที่ช่วยในการเคลื่อนไหวของร่างกาย แบ่งออกเป็น
  - กล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac Muscle)
    - มีเฉพาะที่หัวใจเท่านั้น
    - เซลล์มีลาย มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก แต่ตรงปลายเซลล์แตกออกไปติดกับเซลล์ข้างๆ
    - มีนิวเคลียส 1 – 2 นิวเคลียสอยู่ตรงกลาง
    - เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่นอกเหนืออำนาจจิตใจ (Involuntary Muscle) ถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนวัติ



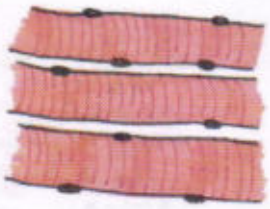
กล้ามเนื้อหัวใจ

  - กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth Muscle)
    - เซลล์ไม่มีลาย มีลักษณะหัวท้ายแหลม เป็นรูปทรงกระสวย
    - มีนิวเคลียสอยู่ตรงกลางเพียงนิวเคลียสเดียว
    - เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่นอกเหนืออำนาจจิตใจ (Involuntary Muscle)
    - ถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนวัติ

กล้ามเนื้อเรียบ ช่วยในการเคลื่อนไหวของอวัยวะภายในทั้งหลาย (ผนังลำไส้ และกระเพาะอาหาร) กล้ามเนื้อหูรูดม่านตา

กล้ามเนื้อเรียบ

  - กล้ามเนื้อยึดกระดูก (Skeletal Muscle) หรือ กล้ามเนื้อลาย (Striated Muscle)
    - เซลล์มีลายชัดเจน เป็นมัดๆ รูปทรงกระบอก
    - มีนิวเคลียสหลายนิวเคลียสอยู่บริเวณรอบๆ เซลล์



กล้ามเนื้อลาย

- เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ (Voluntary Muscle)
- ถูกควบคุมโดยระบบประสาทโซมาติก เช่น กล้ามเนื้อแขน และกล้ามเนื้อขา

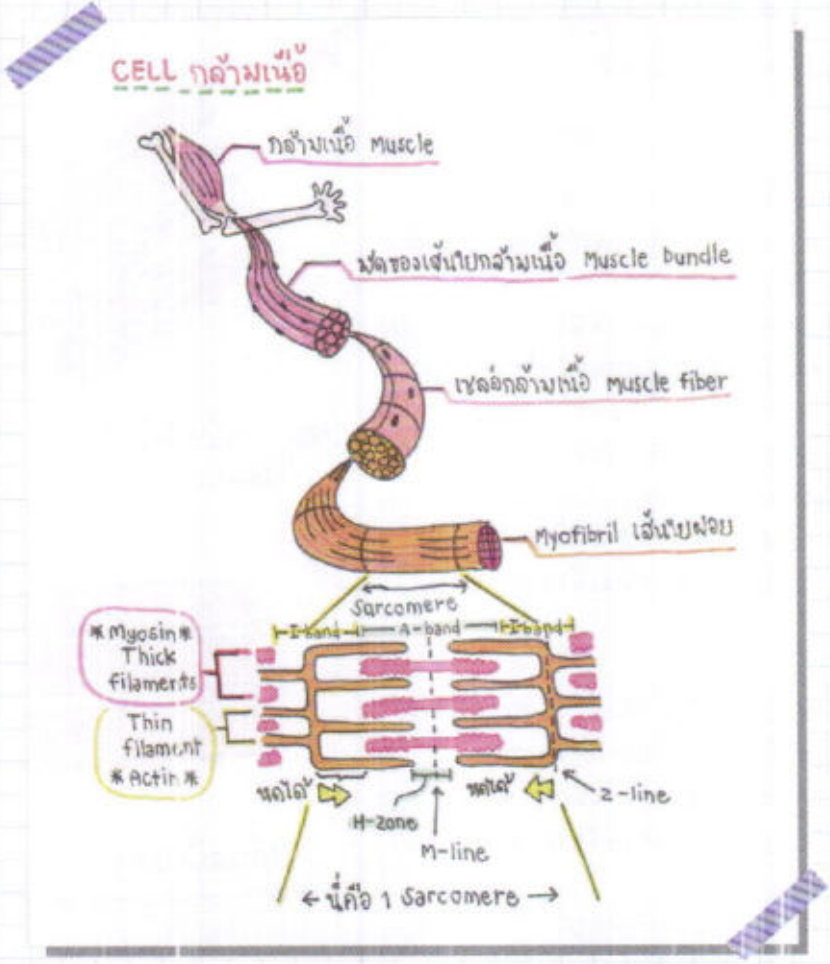
○ มัดกล้ามเนื้อ (Muscle) ประกอบด้วย

>> เซลล์กล้ามเนื้อ (Muscle Cell) หรือ ใยกล้ามเนื้อ (Muscle Fiber) ภายในมีเส้นใย

>> ไมโอไฟบริล (Myofibril) อยู่รวมกันเป็นมัด ไมโครไฟบริลเกิดจากเส้นใยไมโครฟิลาเมนต์หลายมัดรวมกัน

>> ไมโครฟิลาเมนต์ (Microfilament) เป็นเส้นใยกล้ามเนื้อขนาดเล็กมาก

- ประกอบด้วยโปรตีน 2 ชนิด คือ แอกติน (Actin) และ ไมโอซิน (Myosin)
  → ถ้านำไปย้อม แอกตินจะมีสีจาง (I-Band) แต่ไมโอซินจะติดสีเข้ม (Z-Band)



- การทำงานของกล้ามเนื้อยึดกระดูก มีดังนี้

>> ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว >> ปกติแล้วกล้ามเนื้อจะทำงานเป็นคู่แบบตรงกันข้าม (Antagonism) เมื่อกล้ามเนื้อด้านหนึ่งคลายตัว อีกด้านจะหดตัว

→ กล้ามเนื้อที่หดตัวแล้วทำให้อวัยวะงอ เรียกว่า 'กล้ามเนื้อเฟลกเซอร์ (Flexor)'

→ กล้ามเนื้อที่หดตัวแล้วทำให้อวัยวะเหยียด เรียกว่า 'กล้ามเนื้อเอกซ์เทนเซอร์ (Extensor)' เช่น แขนของมนุษย์ประกอบไปด้วยกล้ามเนื้อ

→ ไบเซ็ป (Biceps) ที่จัดเป็นกล้ามเนื้อเฟลกเซอร์

→ ไตรเซ็ป (Triceps) ที่จัดเป็นกล้ามเนื้อเอกซ์เทนเซอร์

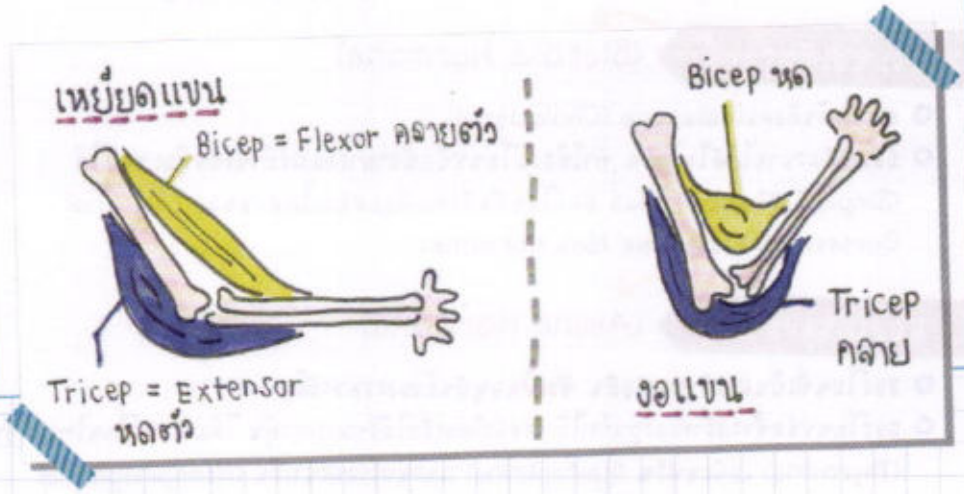
>> ทำให้เกิดการหดตัวและคลายตัว

- เมื่อแอกตินเคลื่อนที่เข้าหากัน แต่ไมโอซินไม่ขยับ >> ทำให้เกิดการหดตัว
- เมื่อแอกตินเคลื่อนที่ออกจากกัน แต่ไมโอซินไม่ขยับ >> ทำให้เกิดการคลายตัว
- โดยมีตัวช่วยในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ได้แก่

→ แคลเซียมไอออน (Ca_2^+) และ พลังงานที่สะสมไว้ (ATP)

- สาเหตุที่ทำให้รู้สึกปวดเมื่อยหลังจากออกกำลังกาย

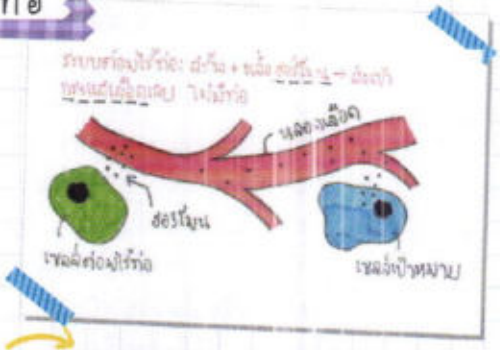
→ เป็นเพราะการสะสมของกรดแลคติกที่เกิดจากการขาดออกซิเจนไปเลี้ยงอวัยวะนั้น



บทที่ 16
ระบบต่อมไร้ท่อ

1. หน้าที่หลักของต่อมไร้ท่อ

- ควบคุม สั่งการและประสานงานกับระบบต่างๆ เกือบทุกระบบในร่างกาย
- สร้างและหลั่งฮอร์โมนส่งไปยังอวัยวะเป้าหมาย โดยผ่านทางกระแสเลือดและน้ำเหลือง



2. ฮอร์โมน

แบ่งตามโครงสร้างทางเคมีได้ 3 ประเภท ดังนี้

ฮอร์โมนสเตียรอยด์ (Steroid Hormone)

- สารตั้งต้นคือคอเลสเตอรอล (Cholesterol)
- มีสมบัติละลายได้ดีในไขมัน ทำให้ฮอร์โมนชนิดนี้สามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ (Simple Diffusion) ได้แก่ ฮอร์โมนที่หลั่งจากต่อมหมวกไตส่วนนอก (Adrenal Cortex) และฮอร์โมนเพศ (Sex Hormone)

ฮอร์โมนเอมีน (Amine Hormone)

- ฮอร์โมนที่เป็นสารจำพวกเอมีน ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกรดอะมิโน
- ฮอร์โมนชนิดนี้จะสร้างและถูกเก็บไว้ จะหลั่งก็ต่อเมื่อได้รับการกระตุ้น ได้แก่ ฮอร์โมนไทรอกซิน (Thyroxine) เอพิเนฟริน (Epinephrine) และนอร์เอพิเนฟริน (Norepinephrine)

ฮอร์โมนเพปไทด์ หรือโปรตีน (Peptide Hormone หรือ Protein Hormone)

- เป็นฮอร์โมนที่มีกรดอะมิโนหลายชนิดต่อกันเป็นสายเพปไทด์ สามารถละลายน้ำได้ดี ได้แก่ โกรทฮอร์โมน (Growth Hormone) อะดรีโนคอร์ติโคโทรปิน (Adrenocorticotropin หรือ ACTH) โปรแลคติน (Prolactin) และอินซูลิน (Insulin) เป็นต้น

3. ระบบต่อมไร้ท่อในร่างกาย

ได้แก่

สมองส่วนไฮโปธาลามัส (Hypothalamus)

- ทำหน้าที่เป็นศูนย์ควบคุมการหลั่งฮอร์โมน ด้วยการผลิตฮอร์โมนประสาท ได้แก่
  - ฮอร์โมนที่กระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนอื่น (Releasing Hormone หรือ RH)
  - ฮอร์โมนที่ยับยั้งการหลั่งของฮอร์โมนอื่น (Inhibiting Hormone หรือ IH)
- ผลิตฮอร์โมนดังรายชื่อด้านล่างเพื่อไปเก็บไว้ที่ต่อมใต้สมองส่วนหลัง ได้แก่
  - ฮอร์โมนแอนติไดยูเรติก (Antidiuretic Hormone หรือ ADH)
  - ฮอร์โมนออกซิโทซิน (Oxytocin)

ต่อมใต้สมอง (Pituitary Gland)

แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

- ต่อมใต้สมองส่วนหน้า (Anterior Lobe of Pituitary) ทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมน ดังนี้
  - โกรทฮอร์โมน (Growth Hormone หรือ GH) มีอีกชื่อว่า โซมาโตโทรปิน (Somatotropin หรือ Somatotropic Hormone หรือ STH)
    - >> ทำหน้าที่ควบคุมการเจริญเติบโตของร่างกาย ทำให้เติบโตสมวัย กล้ามเนื้อร่างกายแข็งแรง
    - >> หากขาดโกรทฮอร์โมนในวัยเด็กจะทำให้ตัวเตี้ย หรือเป็นโรคเตี้ยแคระแกร็น (Dwarfism) ในวัยผู้ใหญ่อาจทำให้เครียดง่าย น้ำตาลในเลือดต่ำ และอาจเป็นอันตรายต่อสมอง
    - >> หากได้รับโกรทฮอร์โมนมากเกินไป ในวัยเด็กจะทำให้ตัวสูงใหญ่ผิดปกติ หรือเกิดสภาพร่างยักษ์ (Gigantism) ในวัยผู้ใหญ่จะทำให้กระดูกบางแห่งผิดปกติ เช่น ใบหน้า นิ้วมือ และนิ้วเท้า เรียกว่า อะโครเมกาลี (Acromegaly)
  - ฟอลลิเคิลสติมูเลติงฮอร์โมน (Follicle Stimulating Hormone หรือ FSH) สร้างจากโกนาโดโทรปิกเซลล์ (Gonadotropic Cell)
    - >> ในเพศชายทำหน้าที่กระตุ้นอัณฑะและหลอดสร้างอสุจิให้เจริญเติบโต
    - >> ในเพศหญิงทำหน้าที่กระตุ้นการเจริญของฟอลลิเคิล (Follicle) ในรังไข่ ซึ่งเป็นแหล่งผลิตฮอร์โมนเอสโตรเจน (Estrogen)
  - ลูทิไนซิงฮอร์โมน (Luteinizing Hormone หรือ LH) สร้างจากโกนาโดโทรปิกเซลล์ (Gonadotropic Cell)

>> ทำหน้าที่กระตุ้นกลุ่มเซลล์อินเตอร์สติเชียลหรือเซลล์เลย์ดิก (Interstitial Cell หรือ Leydig Cell) ในหลอดสร้างอสุจิของเพศชาย ซึ่งผลิตฮอร์โมนเทสโทสเตอโรน (Testosterone)

>> กระตุ้นคอร์ปัสลูเทียม (Corpus Luteum) ที่ผลิตฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน (Progesterone) และกระตุ้นการตกไข่ในเพศหญิง

- โปรแลคติน (Prolactin)

>> ทำหน้าที่กระตุ้นต่อมน้ำนมของหญิงในระยะให้นมบุตร ช่วยให้ผลิตน้ำนมออกมา

- อะดรีโนคอร์ติโคโทรปิน (Adrenocorticotropin หรือ ACTH)

>> ทำหน้าที่กระตุ้นการสร้างฮอร์โมนที่ต่อมหมวกไตชั้นนอกให้เป็นไปตามปกติ

- ไทรอยด์สติมูเลติงฮอร์โมน (Thyroid Stimulating Hormone หรือ TSH)

>> ทำหน้าที่กระตุ้นการสร้างฮอร์โมนที่ต่อมไทรอยด์ให้เป็นไปตามปกติ

- เอนดอร์ฟิน (Endorphine) งานวิจัยเชื่อว่าฮอร์โมนนี้เกิดขึ้นขณะมีความสุข จิตใจสงบ หรือขณะออกกำลังกาย

>> ทำหน้าที่สร้างความสุข ความตื่นตัว ช่วยบรรเทาความเจ็บปวด คลายความเครียด ช่วยเพิ่มความสามารถในการจำ การเรียนรู้ ป้องกันโรคที่ผิดปกติทางจิตใจ เช่น โรคซึมเศร้า

— ต่อมใต้สมองส่วนกลาง (Interior Pituitary)

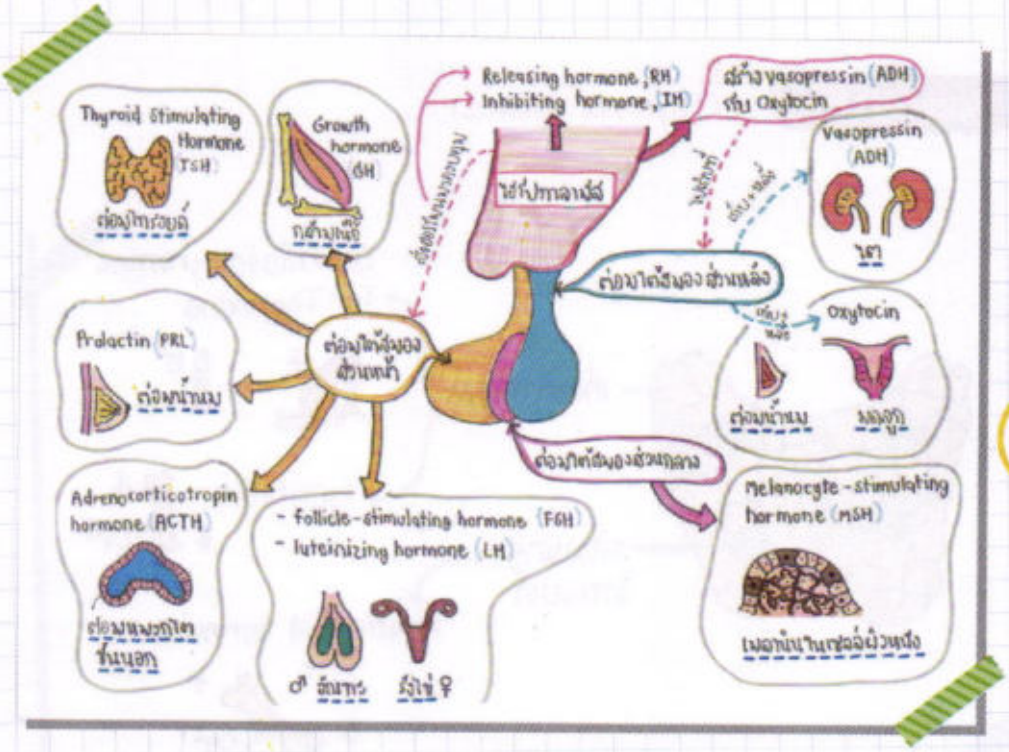
- ทำหน้าที่ผลิตเมลาโนไซต์สติมูเลติงฮอร์โมน (Melanocyte Stimulating Hormone หรือ MSH) ซึ่งทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของเมลานิน (Melanin) ในผิวหนัง ทำให้ผิวมีสีเข้มขึ้น

— ต่อมใต้สมองส่วนหลัง (Posterior Lobe of Pituitary)

- ทำหน้าที่เก็บและหลั่งฮอร์โมนจากไฮโปธาลามัส ดังนี้

>> วาโซเพรสซิน (Vasopressin) หรือ ฮอร์โมนแอนติไดยูเรติก (Antidiuretic Hormone หรือ ADH) ทำหน้าที่กระตุ้นเส้นเลือดให้หดตัว เพื่อให้ท่อหน่วยไตดูดกลับน้ำ ลดการสูญเสียน้ำและเกลือแร่ หากขาดจะทำให้ปัสสาวะมาก เพราะสูญเสียน้ำมากเกิน ทำให้ป่วยเป็นโรคเบาจืด (Diabetes Insipidus)

>> ออกซิโทซิน (Oxytocin) ทำหน้าที่กระตุ้นกล้ามเนื้อเรียบที่หดตัวบริเวณกล้ามเนื้อรอบต่อมน้ำนม ให้เกิดการหลั่งน้ำนม กระตุ้นกล้ามเนื้อเรียบที่หดตัวบริเวณมดลูกให้บีบตัวและช่วยให้มีแรงเบ่งขณะคลอด เพศหญิงจะมีฮอร์โมนนี้มากกว่าเพศชาย บางทีเรียกว่าฮอร์โมนแห่งความผูกพัน

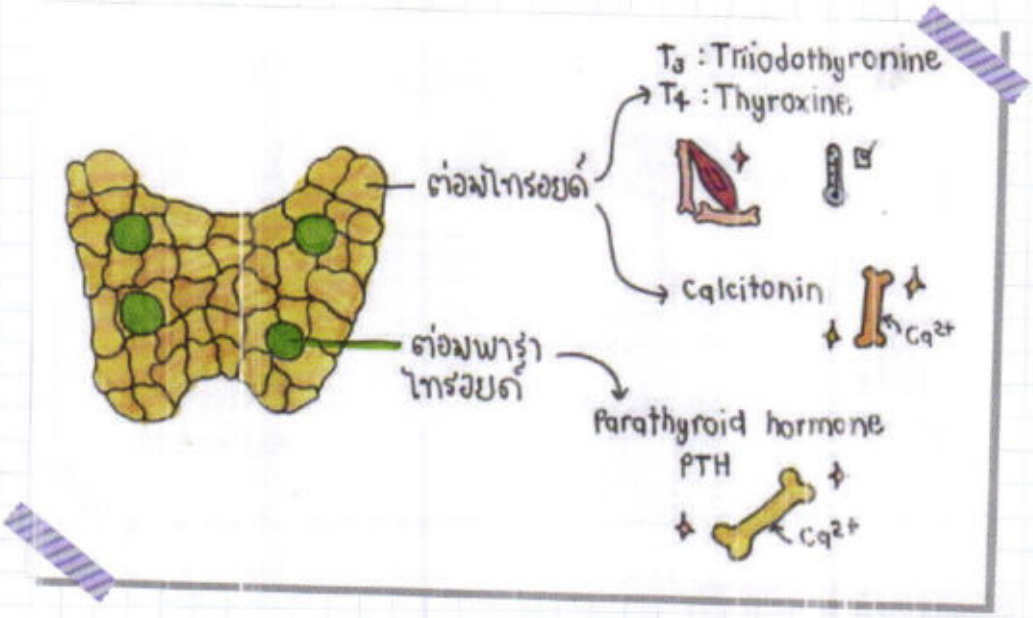


ต่อมไพเนียล (Pineal Gland)

เป็นต่อมที่มีขนาดเล็กตั้งอยู่บริเวณกลางสมอง ทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมน ดังนี้

- **เมลาโทนิน (Melatonin)**
  - สร้างจากสารสื่อประสาทเซโรโทนิน (Serotonin) ผลิตขึ้นขณะนอนหลับในเวลากลางคืน
    - >> เพราะถูกกระตุ้นในความมืดและจะถูกยับยั้งเมื่อมีแสงสว่าง
    - >> จะหยุดผลิตทันทีเมื่อมีแสงมากระทบที่ตา
  - ทำหน้าที่
    - >> รักษาและควบคุมจังหวะของนาฬิกาชีวิต (Circadian Rhythm) เช่น เวลาตื่นนอน เวลาหลับ
    - >> ต้านอนุมูลอิสระ คลายเครียด ช่วยให้นอนหลับง่าย แก้อาการ 'เมาเวลา' หรือเจ็ตแล็ก (Jet Lag)
  - เมลาโทนินจะผลิตน้อยลงเมื่อเข้าสู่วัยชรา ผู้ที่ทำงานเป็นกะ ผู้ที่นอนไม่เป็นเวลา ทำให้บุคคลเหล่านี้นอนหลับอย่างไม่มีประสิทธิภาพ
  - ในวัยเด็กหากได้รับเมลาโทนินมากเกินไปจะทำให้เข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ช้า

ต่อมไทรอยด์ (Thyroid Gland)



- เป็นต่อมไร้ท่อที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในร่างกาย และสำคัญกับการดำรงชีวิต
- อยู่บริเวณคอใต้ลูกกระเดือกซึ่งปกติจะคลำไม่พบ ต่อมไทรอยด์มีกลีบ 2 ข้าง คือ กลีบด้านซ้ายและขวา คล้ายปีกผีเสื้อ
- ทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมน ดังนี้
  - ไทรอกซิน หรือที่ 4 (Thyroxine หรือ T4)
    - ส่วนประกอบหลักในการสร้างคือไอโอดีน
    - ถูกกระตุ้นให้หลั่งโดยไทรอยด์สติมูเลติงฮอร์โมน (Thyroid Stimulating Hormone หรือ TSH) จากต่อมใต้สมอง
    - เมื่อขาดไอโอดีน จะมีการหลั่ง TSH ออกมา แต่ไม่มีการสร้างไทรอกซิน จึงเกิดความไม่สมดุล
      - >> ทำให้เกิดอาการคอพอก

- ทำหน้าที่
  - >> กระตุ้นและควบคุมกระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) และอุณหภูมิของร่างกาย
  - >> ช่วยในการเจริญเติบโตและการพัฒนาการที่ดีของร่างกาย โดยทำงานร่วมกับโกรทฮอร์โมน (Growth Hormone)
  - >> ช่วยในการทำงานทั้งทางด้านสมอง ระบบต่างๆ กระดูก กล้ามเนื้อ และต่อมเพศ
- หากขาดไทรอกซิน
  - >> จะเกิดภาวะไฮโปไทรอยด์ (Hypothyroidism)
  - >> อาการส่วนมาก คือ อ้วน บวม อุ ตามร่างกาย ขี้หนาว เหนื่อยง่าย และความจำเสื่อม
  - >> หากเกิดในเด็ก จะทำให้เด็กมีสมาธิสั้น เติบโตช้า ไม่สูง มีอาการปัญญาอ่อน
  - >> หากเกิดในผู้ใหญ่
    - → เพศหญิงจะมีประจำเดือนมามากและนาน
    - → เพศชายจะมีทรวงอกคล้ายเพศหญิง
      - เรียกว่ากลุ่มอาการมิกซีดีมา (Myxedema)
- หากได้รับมากเกินไป
  - >> จะเกิดภาวะไฮเปอร์ไทรอยด์ (Hyperthyroidism) หรือคอพอกเป็นพิษ (Toxic Goiter) อาจเกิดจากการป่วยเป็นโรคเกรฟส์ (Graves' disease) หรือโรคคอพอกตาโปน
  - >> อาการส่วนมาก คือ เหนื่อยง่าย ขี้ร้อน เหงื่อออกตลอด กินจุแต่ไม่อ้วน เพราะเผาผลาญดี
    - → ในเพศหญิงอาจมีอาการประจำเดือนขาด หรือมาน้อย ไม่สม่ำเสมอ

— ไตรไอโอโดไทโรนีน หรือ ที 3 (Triiodothyronine หรือ T3)

- ทำหน้าที่เช่นเดียวกันกับฮอร์โมนไทรอกซิน
- แม้ผลิตออกมาน้อยกว่าฮอร์โมนไทรอกซิน แต่ทำงานได้ดีกว่า 10 เท่า

- แคลซิโทนิน (Calcitonin) สร้างจากเซลล์พาราฟอลลิเคิล (Parafollicular Cell) หรือ C-cell
  - ทำหน้าที่
    - >> กระตุ้นการสะสมแคลเซียมในกระดูกและลดการสลายของกระดูก
    - >> ลดระดับแคลเซียมในเลือดเมื่อมีปริมาณแคลเซียมสูงเกินไป
    - >> ทำหน้าที่ร่วมกับฮอร์โมนจากต่อมพาราไทรอยด์ และวิตามินดี เพื่อช่วยในการรักษาสมดุลของแคลเซียมและฟอสเฟต

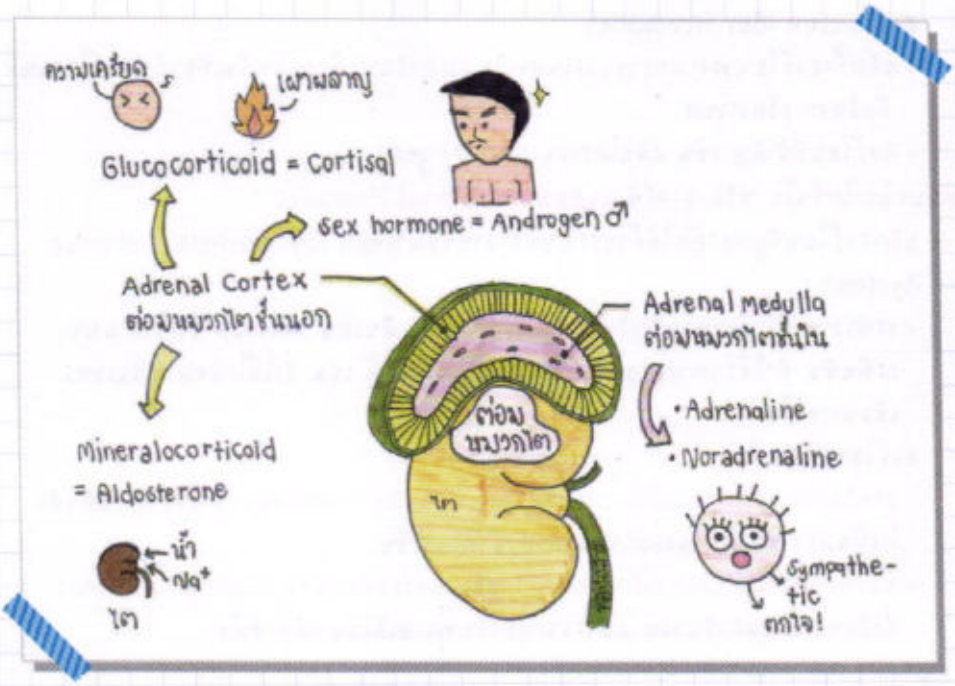
ต่อมพาราไทรอยด์ (Parathyroid Gland)

- เป็นก้อนกลมขนาดเล็ก อยู่หลังต่อมไทรอยด์ 2 ข้าง ข้างละ 2 ต่อม รวมกันเป็น 4 ต่อม
- ทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมน ดังนี้
  - ฮอร์โมนพาราไทรอยด์ (Parathyroid hormone หรือ PTH)
    - ทำหน้าที่รักษาสมดุลของแคลเซียมในร่างกาย
    - หากขาดฮอร์โมนพาราไทรอยด์
      - >> จะสูญเสียความสามารถในการดูดกลับที่ท่อหน่วยไต
      - >> ปริมาณแคลเซียมลดลง เพราะปัสสาวะออกจนหมด
      - >> อาจเกิดอาการแขนขาสั่น ชักเกร็ง ปวดล้มเหลว
    - หากได้รับมากเกินไป
      - >> จะเกิดการสะสมของแคลเซียมที่หลอดเลือดและที่ไต
      - >> กระดูกเปราะ ไม่แข็งแรงและหักง่าย ฟันผุ เพราะถูกดึงแคลเซียม

ต่อมหมวกไต (Adrenal Gland)

ถูกเรียกว่าหมวกไต เพราะต่อมนี้ตั้งอยู่บนไตทั้งสองข้าง แบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ

- ต่อมหมวกไตชั้นนอก หรือ อะดรีนัลคอร์เท็กซ์ (Adrenal Cortex) ทำหน้าที่ผลิตกลุ่มฮอร์โมน ดังนี้
  - กลูโคคอร์ติคอยด์ (Glucocorticoid)
    - เป็นกลุ่มฮอร์โมนที่ช่วยในการควบคุมการเผาผลาญในร่างกาย
    - ฮอร์โมนที่สำคัญในกลุ่มนี้ เช่น คอร์ติซอล (Cortisol)
    - ทำหน้าที่
      - >> ควบคุมการเผาผลาญในร่างกายและเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด



>> ช่วยให้สมองตอบสนองต่อสิ่งเร้า รวมถึงความเครียดต่างๆ

- หากขาดกลูโคคอร์ติคอยด์
  >> จะทำให้เป็นโรคแอดดิสัน (Addison's disease)
  → มีอาการซูบผอม เบื่ออาหาร ท้องเสีย อาเจียน และแร่ธาตุไม่สมดุล
- หากได้รับมากเกินไป
  >> จะทำให้เป็นโรคคุชชิง (Cushing's syndrome)
  → มีอาการหน้ากลมคล้ายพระจันทร์ กล้ามเนื้ออ่อนแรง อ้วน บวม

— มิเนอราโลคอร์ติคอยด์ (Mineralocorticoid)

- เป็นกลุ่มฮอร์โมนที่ช่วยควบคุมสมดุลของน้ำและแร่ธาตุในร่างกาย
- ทำหน้าที่
  >> ควบคุมการเผาผลาญในร่างกายและเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด
  >> ควบคุมการทำงานของสมองในการตอบสนองต่อสิ่งเร้า และความเครียด
- หากขาดมิเนอราโลคอร์ติคอยด์
  >> จะทำให้ความดันเลือดต่ำ ขาดน้ำ โซเดียมต่ำ โพแทสเซียมสูง และเลือดเป็นกรด
- หากได้รับมากเกินไป
  >> จะทำให้ความดันเลือดสูง โซเดียมสูง โพแทสเซียมต่ำ และภาวะร่างกายเป็นเบส
  ฮอร์โมนที่สำคัญในกลุ่มนี้ เช่น แอลโดสเทอโรน (Aldosterone)

- ฮอร์โมนเพศ (Sex Hormone)
  - ผลิตทั้งฮอร์โมนของเพศชายและเพศหญิง แต่มีปริมาณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับฮอร์โมนเพศที่ผลิตจากอวัยวะเพศ
  - ฮอร์โมนที่สำคัญ เช่น แอนโดรเจน (Androgen)

- ต่อมหมวกไตชั้นใน หรือ อะดรีนัลเมดัลลา (Adrenal Medulla)
  - ผลิตฮอร์โมนที่ถูกกระตุ้นได้ด้วยระบบประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic nervous System)
    - จะทำงานเมื่อร่างกายเผชิญอันตราย ความเครียด ตื่นเต้น ตกใจกลัว ซึ่งเข้ามาแบบกะทันหัน ทำให้ร่างกายสามารถทำในสิ่งที่ไม่คาดคิดได้ เช่น วิ่งได้ไกลหลายกิโลเมตร เมื่อพบหมีในป่า
  - ฮอร์โมนที่ผลิต ได้แก่
    - อะดรีนาลีน (Adrenaline) หรือ เอพิเนฟริน (Epinephrine) ทำให้ร่างกายตื่นตัว ใจเต้นแรง หลอดลมและม่านตาขยาย น้ำตาลสูงขึ้น
    - นอร์อะดรีนาลีน (Noradrenaline) หรือ นอร์เอพิเนฟริน (Norepinephrine) ซึ่งมีฤทธิ์คล้ายอะดรีนาลีน แต่จะออกฤทธิ์กับหลอดเลือดมากกว่าหัวใจ

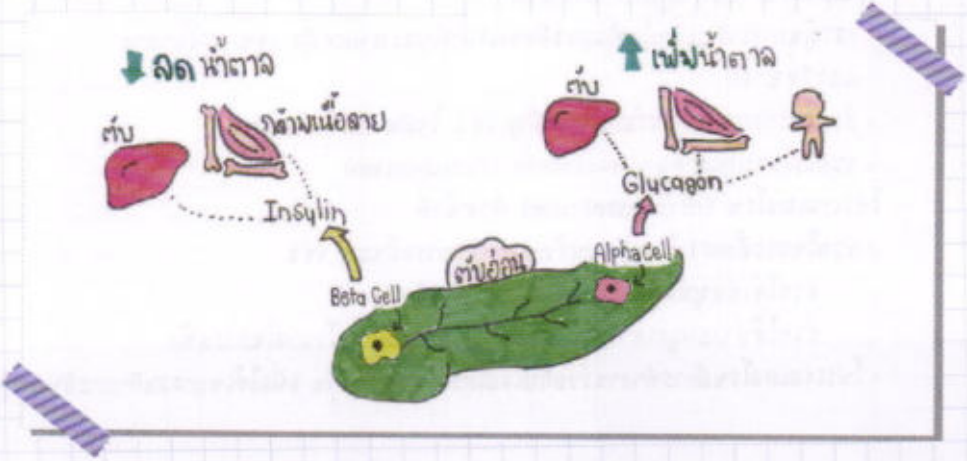
ต่อมไทมัส (Thymus Gland)

- อยู่บริเวณกลางอก ลักษณะเป็น 2 พู
- มีขนาดใหญ่สุดเมื่อแรกเกิด จากนั้นจึงค่อยลดขนาดลงจนเหี่ยวเมื่อเติบโตขึ้น และจะเปลี่ยนเป็นพังผืดเมื่อเข้าสู่วัยชรา
- ถ้าต่อมนี้ไม่เจริญเติบโตตั้งแต่เกิด อาจเป็นอันตรายถึงชีวิตแก่ทารกแรกเกิด
- เป็นต่อมที่ไวต่อการติดเชื้อ เพราะเป็นต่อมที่ผลิตฮอร์โมนเกี่ยวกับระบบภูมิคุ้มกัน
- ทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนไทโมซิน (Thymosin) ซึ่งทำหน้าที่ช่วยกระตุ้นการเพิ่มจำนวนเม็ดเลือดขาว ชนิด T-cell ที่ทำงานในระบบภูมิคุ้มกัน

ตับอ่อน (Pancreas)

- อยู่ด้านบนซ้ายของช่องท้อง มีทั้งต่อมมีท่อและต่อมไร้ท่อ
- มีต่อมไอส์เลตส์ออฟลังเกอร์ฮันส์ (Islets of Langerhans)
  - เป็นต่อมไร้ท่อที่มีจำนวนมากและขนาดเล็กที่สุดกระจายอยู่ในตับอ่อนเป็นหย่อมๆ
  - มีเซลล์ 2 ประเภทอยู่ภายใน คือ เซลล์แอลฟา (Alpha Cell) และเซลล์บีตา (Beta Cell)
- ทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมน ดังนี้

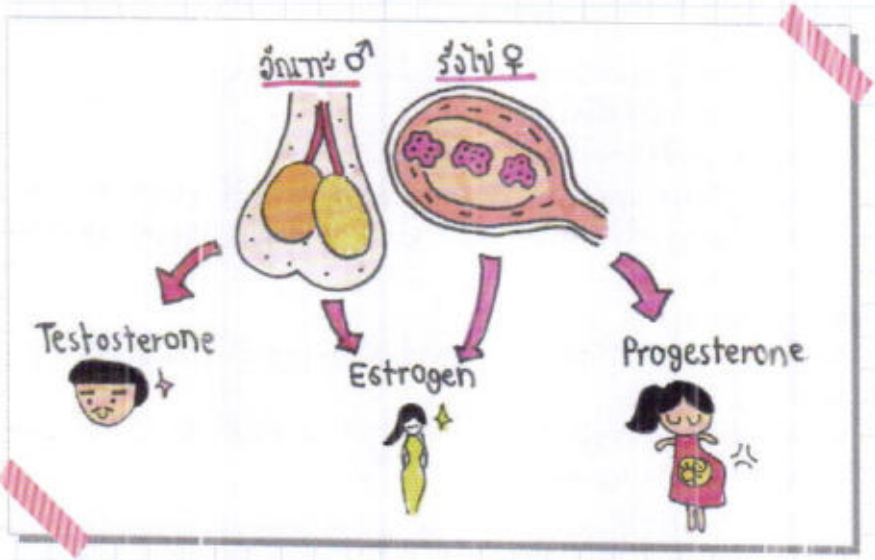
- อินซูลิน (Insulin)
  - สร้างจากเซลล์บีตา (Beta Cell) ที่อยู่รอบนอกของกลุ่มเซลล์ไอส์เลตส์ออฟลังเกอร์ฮันส์
  - อวัยวะเป้าหมาย คือ ตับและกล้ามเนื้อลายเป็นสำคัญ รวมถึงเซลล์ร่างกายเกือบทุกชนิด
  - ทำหน้าที่ลดระดับน้ำตาลในเลือด (ระดับปกติไม่ควรเกิน 100 มิลลิกรัมต่อเลือด 100 มิลลิลิตร) ด้วยวิธีการ
    - >> กระตุ้นให้กลูโคสเข้าสู่เซลล์ตับและกล้ามเนื้อ
    - >> กระตุ้นให้เซลล์นั้นๆ เปลี่ยนกลูโคสเป็นไกลโคเจนแล้วสะสมเอาไว้
  - หากขาดอินซูลิน
    - >> จะทำให้เซลล์ตับและกล้ามเนื้อเปลี่ยนกลูโคสเป็นไกลโคเจน
    - >> ทำให้เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดสูง
    - >> ส่งผลให้ป่วยเป็นโรคเบาหวาน (Diabetes Mellitus)
    - >> ผู้ป่วยจะปัสสาวะบ่อย ปัสสาวะมีรสหวาน มดขึ้น เพราะมีน้ำตาลมาก ต้องกำจัดออกทางไต ผู้ป่วยใช้น้ำตาลเป็นพลังงานไม่ได้ ทำให้เกิดความผิดปกติ และมีโรคแทรกซ้อน
- กลูคากอน (Glucagon)
  - สร้างจากเซลล์แอลฟา (Alpha Cell) ที่อยู่ด้านในของกลุ่มเซลล์ไอส์เลตส์ออฟลังเกอร์ฮันส์
  - ทำงานตรงกันข้ามกับอินซูลิน อวัยวะเป้าหมาย คือ ตับ เซลล์ไขมัน กล้ามเนื้อลายและเซลล์ร่างกายเกือบทุกชนิด
  - ช่วยเพิ่มน้ำตาลในเลือด
    - >> ด้วยการกระตุ้นให้เซลล์ตับและกล้ามเนื้อเปลี่ยนไกลโคเจนที่สะสมไว้ให้กลายเป็นกลูโคส และปล่อยกลูโคสนั้นเข้าสู่กระแสเลือด (ระดับน้ำตาลเพิ่ม)
  - กลูคากอนช่วยกระตุ้นให้กรดอะมิโนและกรดไขมันสร้างกลูโคสเพิ่มขึ้น



ต่อมเพศ (Gonad)

- อัณฑะ ทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมน ดังนี้
  - เทสโทสเตอโรน (Testosterone)
    - ทำหน้าที่กระตุ้นการเจริญเติบโตที่แสดงลักษณะสำคัญของเพศชาย เช่น เสียงแตก และมีหนวดเครา
  - เอสโตรเจน (Estrogen)

    อัณฑะสามารถผลิตเอสโตรเจนได้แต่มีปริมาณน้อย



- รังไข่ ทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมน ดังนี้
  - เอสโตรเจน (Estrogen) ทำหน้าที่
    - กระตุ้นการเจริญเติบโตที่แสดงลักษณะสำคัญของเพศหญิง เช่น สะโพกผาย และมีหน้าอก
    - ช่วยให้ร่างกายมีการสะสมสารสำคัญ เช่น ไขมัน และแคลเซียม
    - ช่วยเร่งระบบเผาผลาญของร่างกาย (Metabolism)
  - โปรเจสเตอโรน (Progesterone) ทำหน้าที่
    - ช่วยในการตั้งครรภ์ เตรียมพร้อมสำหรับการเป็นแม่ เช่น
      - >> ช่วยให้เยื่อบุมดลูกเหมาะสมสำหรับการฝังตัว
      - >> ช่วยให้ปากมดลูกเหนียวและลดการบีบตัวเพื่อลดโอกาสในการแท้ง
    - โปรเจสเตอโรนมีการทำงานร่วมกับเอสโตรเจนหลายด้าน เพื่อให้เหมาะสมกับการสืบพันธุ์

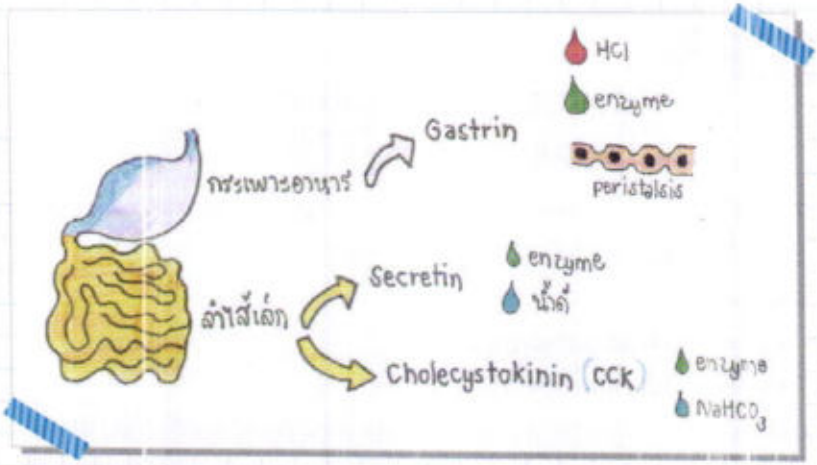
รก

เป็นอวัยวะที่เชื่อมสายสะดือระหว่างมารดา
และบุตรในครรภ์ ทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมน ดังนี้

- ฮิวแมนคอริโอนิกโกนาโดโทรปิน (Human Chorionic Gonadotropin หรือ HCG)
  - สามารถใช้ทดสอบการตั้งครรภ์ผ่านทางปัสสาวะ
  - ทำหน้าที่
    - ช่วยในการเจริญเติบโตของรกและมดลูก
    - ช่วยให้คอร์ปัสลูเทียมในรังไข่มีอายุนานขึ้น
- โปรเจสเตอโรน (Progesterone) และ เอสโตรเจน (Estrogen) ในระยะหลังการตั้งครรภ์

กระเพาะอาหาร

- ผลิตฮอร์โมนแกสตริน (Gastrin)
  - สร้างจากเนื้อเยื่อชั้นในของกระเพาะอาหาร
  - ทำหน้าที่
    - กระตุ้นการหลั่งเอนไซม์และกรดไฮโดรคลอริกในกระเพาะ
    - กระตุ้นการหลั่งเอนไซม์จากตับอ่อน
    - เพิ่มการเคลื่อนไหวของกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก



ลำไส้เล็ก

- ผลิตฮอร์โมนซีครีติน (Secretin)
  - สร้างจากลำไส้เล็กส่วนต้น (Duodenum)
  - ทำหน้าที่
    - กระตุ้นการหลั่งเอนไซม์จากตับอ่อน
    - กระตุ้นการหลั่งน้ำดีจากตับ
- ผลิตฮอร์โมนโคลีซีสโตไคนิน (Cholecystokinin หรือ CCK)
    - ช่วยกระตุ้นการหลั่งเอนไซม์และโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) จากตับอ่อน

ไต

- ผลิตฮอร์โมนอีริโทรโพอิทิน (Erythropoietin) หรืออีพีโอ (EPO)
  - ทำหน้าที่
    - ป้องกันไม่ให้เกิดภาวะโลหิตจาง (Anemia)
    - กระตุ้นให้ไขกระดูกสร้างเม็ดเลือดแดงให้เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย

4. การควบคุมการหลั่งฮอร์โมน

(Control of Hormone Secretion)

- มี 4 วิธี ดังนี้
  - แบบยับยั้งการย้อนกลับ (Negative Feedback)
    - การควบคุมส่วนใหญ่จะใช้รูปแบบนี้ เป็นวิธียับยั้งการหลั่งฮอร์โมน
    - จะใช้วิธีให้ฮอร์โมนตัวนั้นเองหรือผลของการใช้ฮอร์โมนนั้นส่งสัญญาณไปยังต่อมไร้ท่อให้ผลิตฮอร์โมนน้อยลง เช่น อินซูลินที่ช่วยลดน้ำตาลในเลือด เมื่อผลิตมากจะทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดต่ำ
      - การที่ระดับน้ำตาลในเลือดต่ำนั่นเอง เป็นการส่งสัญญาณไปยังตับอ่อนให้ผลิตอินซูลินน้อยลง
  - แบบกระตุ้นการย้อนกลับ (Positive Feedback)
    - ตรงกันข้ามกับแบบยับยั้งการย้อนกลับ
    - วิธีนี้เป็นการกระตุ้นฮอร์โมนให้หลั่งมากขึ้น เช่น การดูดนมของทารกจะไปกระตุ้นฮอร์โมนออกซิโทซินที่ช่วยในการผลิตน้ำนมให้หลั่งมากขึ้น
  - ใช้ระบบประสาท
    - แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ
      1) อาศัยการสั่งการจากสมองส่วนไฮโปธาลามัสในการควบคุม
      2) อาศัยฮอร์โมนที่หลั่งจากสมองส่วนไฮโปธาลามัสในการควบคุมอีกที ได้แก่
         - >> ฮอร์โมนที่กระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนอื่น (Releasing Hormone หรือ RH)
         - >> ฮอร์โมนที่ยับยั้งการหลั่งฮอร์โมนอื่น (Inhibiting Hormone หรือ IH)
  - ตามปริมาณการใช้
    - วิธีนี้จะหลั่งฮอร์โมนออกมาเฉพาะเมื่อต้องการใช้เท่านั้น
    - อาจใช้ตัวกระตุ้นบางอย่างเพื่อให้รู้ว่าต้องหลั่งฮอร์โมนออกมาเพิ่ม เช่น ปริมาณสารเคมีในเลือด

5. ฟีโรโมน (Pheromone)

- เป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่เมื่อหลั่งออกมาแล้วจะส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตอื่นในสปีชีส์เดียวกัน
- ฟีโรโมนมีผลต่อระบบร่างกายและพฤติกรรม กระตุ้นการตื่นตัว ความต้องการทางเพศ และความพึงพอใจระหว่างกัน
- สามารถเข้าสู่ร่างกายผ่านทางการกิน การดูดซึม และการสูดดม
- สรุปการทำงานของฟีโรโมน ดังนี้

  ฟีโรโมน >> เซลล์ประสาทที่รับรู้ฟีโรโมนนั้น >> เซลล์ประสาทส่วนกลาง จากนั้น

  → อาจไปกระตุ้นต่อมไร้ท่อให้ผลิตฮอร์โมนอื่นออกมา หรือ

  → อาจส่งผลต่อการแสดงออกทางพฤติกรรม

ตัวอย่างผลที่เกิดจากฟีโรโมน

- มดเดินเรียงแถวตามกันเป็นทางยาว
- สุนัขปัสสาวะไว้ตามที่ต่างๆ เพื่อประกาศอาณาเขต
- หนอนผีเสื้อกลางคืนเพศเมียสามารถส่งฟีโรโมนไปให้เพศผู้ได้ไกลหลายกิโลเมตร
- ผึ้งราชินีสร้างฟีโรโมนไว้ให้ผึ้งงานกิน เพื่อให้ผึ้งงานเป็นหมัน

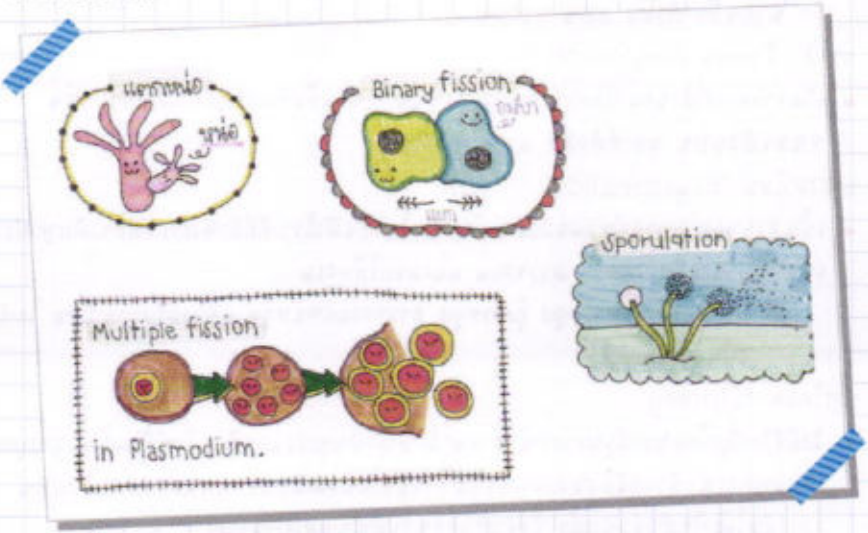
บทที่ 17
ระบบสืบพันธุ์

1. ระบบสืบพันธุ์ของสัตว์

แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (Asexual Reproduction)

- เป็นการสืบพันธุ์แบบอาศัยการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (Mitosis)
- ลูกที่เกิดมาจะมีลักษณะคล้ายพ่อแม่ทุกประการ ไม่มีการแปรผันทางพันธุกรรมเกิดขึ้น มีหลายวิธีดังนี้



- การแตกหน่อ (Budding)
  - เกิดขึ้นบริเวณผนังเซลล์รอบนอก จะมีลักษณะเป็นตุ่มขนาดเล็ก ยื่นเป็นหน่อออกมา แล้วจึงหลุดไป
  - พบในสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว สัตว์ชั้นต่ำ พืชชั้นสูง เช่น ยีสต์ ฟองน้ำ ไฮดรา ไผ่ กล้วย อ้อย และพุทธรักษา
- การแบ่งสองส่วน (Binary Fission)
  - เป็นการแบ่งเซลล์จาก 1 เซลล์ ให้เป็น 2 เซลล์ โดยเซลล์ทั้งสองส่วนที่ได้จะมีขนาดเท่ากัน
  - พบในสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว ได้แก่ แบคทีเรีย อะมีบา พารามีเซียม และยูกลีนา

- การแบ่งแยกทวีคูณ (Multiple Fission)
  - เกิดจากการแบ่งนิวเคลียสหลายครั้ง แล้วจึงเกิดการแบ่งไซโตพลาสซึมจนได้เซลล์จำนวนมาก เช่น พลาสโมเดียม สัตว์ที่เป็นพาหะโรคไข้มาลาเรีย
- การสร้างสปอร์ (Sporulation)
  - เริ่มจากการแบ่งนิวเคลียสหลายครั้ง จนได้เป็นนิวเคลียสจำนวนมาก
  - จากนั้นไซโตพลาสซึมจะห่อหุ้มแต่ละนิวเคลียส กลายเป็นผนังหนาหุ้มเซลล์แต่ละเซลล์ไว้
  - เซลล์พวกนี้ เรียกว่า สปอร์ (Spore)
  - พบใน เห็ด รา มอส ฟิช แต่การสร้างสปอร์ของแบคทีเรียไม่นับเป็นการสืบพันธุ์
- พาร์ธีโนเจเนซิส (Parthenogenesis)
  - ไข่ที่ออกมาจากตัวเมียสามารถฟักออกมาเป็นตัวได้โดยไม่ต้องผ่านการปฏิสนธิ
    >> ไข่ที่ได้จะฟักออกมาเป็นตัวผู้เสมอ
    >> ยกเว้นถ้าไข่ได้รับการปฏิสนธิจะเจริญไปเป็นตัวเมีย (เช่น ผึ้งราชินี)
    >> พบในผึ้ง ตัวต่อ แตน และมด
- การหักเป็นท่อน (Fragmentation)
  - เกิดจากการที่ส่วนของร่างกายหลุดออกเป็นส่วนๆ แล้วจึงเจริญเป็นตัวใหม่ เช่น หนอนตัวแบน พยาธิตัวตืด สาหร่ายทะเล
- การงอกใหม่ (Regeneration)
  - เป็นส่วนของร่างกายที่หลุดออกมาแล้วเจริญไปเป็นตัวใหม่ที่มีลักษณะเหมือนเดิมทุกประการ เช่น พลานาเรีย ไฮดรา ดาวทะเล และดอกไม้ทะเล
    - แต่การที่จิ้งจกหางหลุด กุ้งขาหลุด ดาวทะเลแขนหลุด แล้วงอกออกมาใหม่ ไม่นับเป็นการสืบพันธุ์
- การโคลน (Cloning)
  - สิ่งมีชีวิตที่ถูกโคลนจะมีรูปร่างหน้าตาและลักษณะพันธุกรรมเหมือนสิ่งมีชีวิตต้นแบบทุกประการ
  - เริ่มจากการนำนิวเคลียสออกจากเซลล์ไข่แล้วใส่นิวเคลียสจากเซลล์ร่างกายไปแทน
    >> เมื่อได้เป็นตัวอ่อนแล้ว จึงนำตัวอ่อนไปฝังในมดลูกของแม่

การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (Sexual Reproduction)

- เป็นการรวมตัวกันระหว่างนิวเคลียสของเซลล์สืบพันธุ์ทั้งเพศผู้และเพศเมีย เรียกว่า การปฏิสนธิ (Fertilization)
- โดยการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ (Gametogenesis) ต้องอาศัยการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (Meiosis)

- ลูกที่เกิดมาจะมีลักษณะบางประการต่างจากพ่อแม่ เพราะสามารถเกิดการแปรผันทางพันธุกรรมได้หลากหลาย
- แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1) กลุ่มที่มีอวัยวะสืบพันธุ์ของทั้ง 2 เพศอยู่ในตัวเดียวกัน (Monoecious) หรือ กะเทย (Hermaphrodite)

- การปฏิสนธิในตัวเอง (Self-Fertilization)
  - >> เกิดจากเซลล์สืบพันธุ์ทั้ง 2 เพศ มีการเจริญพร้อมกัน ทำให้ปฏิสนธิในตัวเองได้เลย เช่น พยาธิตัวตืด
- การปฏิสนธิข้ามตัว (Cross Fertilization)
  - >> เกิดจากเซลล์สืบพันธุ์ทั้ง 2 เพศ มีการเจริญไม่พร้อมกัน ทำให้ต้องมีการปฏิสนธิข้ามตัว เช่น ไส้เดือนดิน พลานาเรีย และไฮดรา

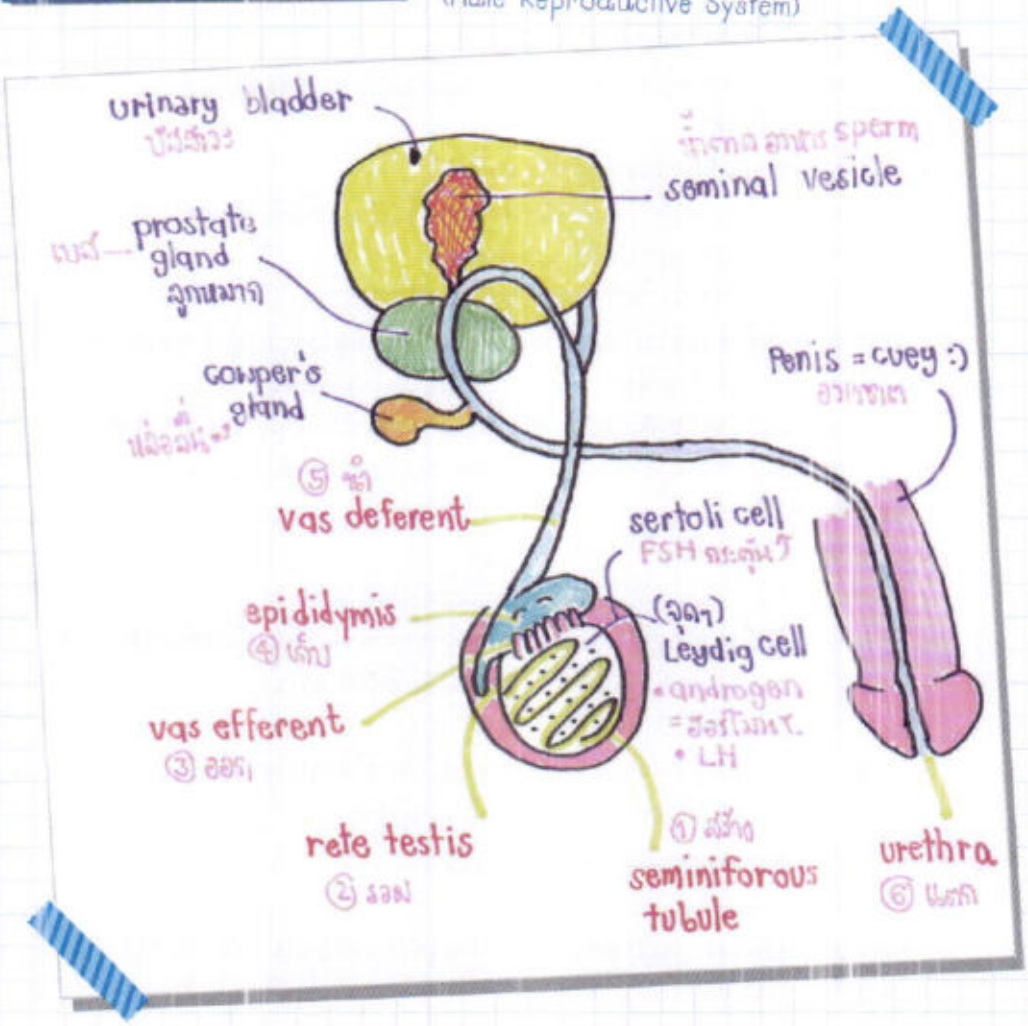
2) กลุ่มที่มีอวัยวะสืบพันธุ์ของทั้ง 2 เพศอยู่แยกกัน (Dioecious)

- มีการแยกเพศให้เห็นอย่างชัดเจน โดยตัวผู้มักเป็นฝ่ายที่ดูสวยงามเพื่อดึงดูดตัวเมีย
- พบในพวกหนอนตัวกลม แมลง แมงกะพรุน สัตว์มีกระดูกสันหลัง
- แมลงบางชนิดมีสเปอร์มาทีกา (Spermatheca) สำหรับเก็บอสุจิไว้รอผสมกับไข่ที่สุก
- แมงกะพรุนมีการสืบพันธุ์แบบสลับ คือ มีทั้งการแบ่งตัวหรือแตกหน่อ และการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ขึ้นมา
- การปฏิสนธิวิธีนี้แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่
  - >> การปฏิสนธิภายนอก (External Fertilization)
    - เป็นวิธีที่ไข่และอสุจิจะไปผสมกันภายนอกร่างกายของทั้งเพศผู้และเพศเมีย เช่น ปลา หางนกยูง ปลาสวด ปลาเข็ม และสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ
  - >> การปฏิสนธิภายใน (Internal Fertilization)
    - เป็นวิธีที่เพศผู้จะปล่อยอสุจิเข้าไปผสมกับไข่ภายในร่างกายของเพศเมีย เช่น สัตว์ปีก สัตว์เลื้อยคลาน และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

- นอกจากนี้ยังมีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศอย่างอื่นอีก ได้แก่
  - คอนจูเกชัน (Conjugation)
    - เป็นการรวมตัวของเซลล์สืบพันธุ์ที่มีขนาดและรูปร่างเหมือนกัน เช่น พารามีเซียม แบคทีเรีย และสาหร่ายบางชนิด

2. ระบบสืบพันธุ์ของมนุษย์

ระบบสืบพันธุ์ในเพศชาย (Male Reproductive System)



- อวัยวะสืบพันธุ์ของเพศชาย ได้แก่
  - อัณฑะ (Testis)
    - ทำหน้าที่สร้างอสุจิและฮอร์โมนเพศชาย
    - มี 1 คู่ อยู่นอกช่องท้อง บรรจุอยู่ภายในถุงอัณฑะ มีอุณหภูมิต่ำกว่าร่างกายประมาณ 3 - 5°C

- ขณะอยู่ในครรภ์มารดาอัณฑะจะอยู่ภายในช่องท้องของทารก และจะถูกดันลงมาช่วงก่อนคลอด
  >> ถ้าอัณฑะไม่ลงมาหรือลงมาเพียงข้างเดียวอาจทำให้เกิดปัญหาตามมา เช่น เกิดเนื้องอกและเป็นหมัน

— ถุงอัณฑะ (Scrotum)
- ทำหน้าที่ห่อหุ้มอัณฑะ และควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการสร้างและการเจริญเติบโตของอสุจิ ระดับอุณหภูมิที่เหมาะสม
  >> ประมาณ 34 °C

— อวัยวะเพศชาย (Penis) หรืออวัยวะชาต
- ทำหน้าที่เป็นท่อสำหรับขับน้ำปัสสาวะและน้ำอสุจิออกจากร่างกาย

— หลอดสร้างอสุจิ (Seminiferous Tubules)
- มีจำนวนมากอยู่ภายในอัณฑะ
- ทำหน้าที่สร้างอสุจิ และเป็นที่อยู่ของกลุ่มเซลล์สเปอร์มาโทโกเนียมและเซลล์เซอร์โทไล

— หลอดนำอสุจิ (Vas deferens)
- อยู่ต่อจากหลอดเก็บอสุจิ
- ทำหน้าที่นำอสุจิไปเก็บที่ต่อมสร้างน้ำเลี้ยงอสุจิ

— หลอดเก็บอสุจิ (Epididymis)
- เป็นท่อขนาดเล็ก ยาวประมาณ 6 เมตร ขดไปมาบนอัณฑะ
- เป็นแหล่งสำหรับพักและเพิ่มความแข็งแรงให้อสุจิที่กำลังเจริญ

— ต่อมสร้างน้ำเลี้ยงอสุจิ (Seminal Vesicle)
- ทำหน้าที่สร้างและหลั่งอาหารมาเลี้ยงอสุจิ ประกอบด้วยเมือก น้ำตาลฟรุกโตส และกรดอะมิโน

— ต่อมลูกหมาก (Prostate Gland)
- ทำหน้าที่สร้างสารที่เป็นเบสอ่อนช่วยให้ช่องคลอดของเพศหญิงมีค่าเป็นกลาง
  >> ทำให้อสุจิสามารถเคลื่อนที่และมีชีวิตรอดในช่องคลอดที่เป็นกรดได้

— ต่อมคาวเปอร์ (Cowper's Gland)
- ทำหน้าที่สร้างสารเมือกไปหล่อลื่นท่อปัสสาวะขณะมีความรู้สึกทางเพศ เพื่อให้อสุจิวิ่งได้เร็วกว่าเดิม

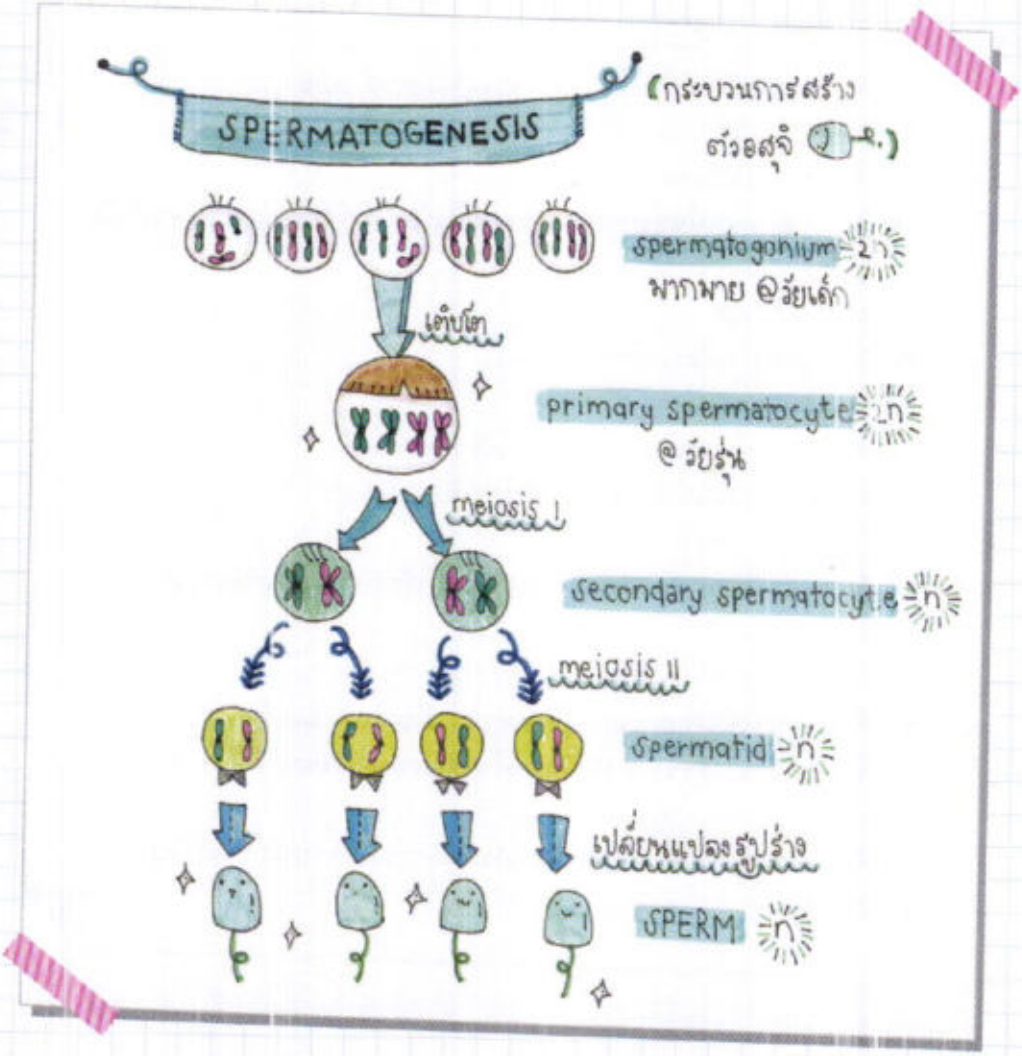
○ ลักษณะเฉพาะ

— การสร้างอสุจิ (Spermatogenesis)

- เกิดขึ้นภายในท่อของหลอดสร้างอสุจิ (Seminiferous Tubule) มีจำนวนมากในอัณฑะ
- สรุปขั้นตอนการสร้างอสุจิ ดังนี้

1) ที่ผนังของหลอดจะมีสเปอร์มาโทโกเนียม (Spermatogonium) ตั้งแต่ยังเป็นเด็ก
>> เป็นเซลล์ดิพลอยด์ (Diploid) หรือ 2n ที่สามารถแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสได้ตลอด

2) เมื่อเข้าสู่วัยรุ่นฮอร์โมน FSH จะกระตุ้นให้สเปอร์มาโทโกเนียมแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
>> ได้เป็นสเปอร์มาโทโกเนียมจำนวนมาก



3) สเปอร์มาโทโกเนียมบางเซลล์จะเจริญไปเป็นเซลล์ที่มีขนาดใหญ่กว่าเดิม
>> เรียกว่า สเปอร์มาโทไซต์ระยะแรก (Primary Spermatocyte) เป็นเซลล์ดิพลอยด์ (2n)

4) สเปอร์มาโทไซต์ระยะแรกแต่ละเซลล์ จะมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส 2 ครั้ง
>> ครั้งแรก จะได้สเปอร์มาโทไซต์ระยะที่สอง (Secondary Spermatocyte) จำนวน 2 เซลล์ ซึ่งเป็นเซลล์แฮพลอยด์ (Haploid) หรือ (n)
>> ครั้งที่สอง จะได้สเปอร์มาทิด (Spermatid) จำนวน 4 เซลล์

5) สเปอร์มาทิดแต่ละตัวจะมีการเปลี่ยนรูปร่างไปเป็นอสุจิ
>> ซึ่งมีเซลล์เซอร์โทไล (Sertoli Cell) ที่อยู่ในหลอดสร้างอสุจิเป็นตัวช่วย

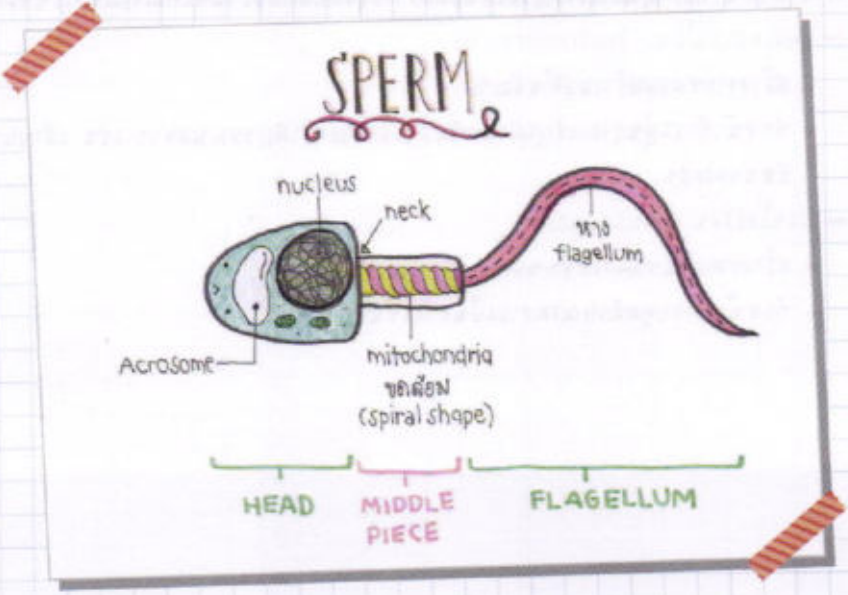
อสุจิ (Sperm)

- ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

1) หัว (Head)
>> เป็นส่วนที่มีนิวเคลียสอยู่
>> ปลายสุดของหัวมีถุงอะโครโซม (Acrosome) ภายในบรรจุเอนไซม์ที่ใช้สำหรับเจาะไข่

2) ลำตัว (Middle Piece)
>> มีไมโทคอนเดรีย (Mitochondria) ที่สร้างพลังงาน ขดล้อมอยู่จำนวนมาก

3) หาง (Flagellum)
>> เป็นส่วนที่ช่วยในการเคลื่อนที่ ทำให้อสุจิวิ่งได้อย่างรวดเร็ว



— การเคลื่อนที่ของอสุจิ

- สรุปการเคลื่อนที่ของอสุจิ ดังนี้

1) เริ่มแรกอสุจิที่ถูกสร้างจากหลอดสร้างอสุจิจะถูกนำไปเก็บไว้ที่หลอดเก็บอสุจิจนกว่าจะโตเต็มที่

2) เมื่อโตเต็มที่แล้วอสุจิจะเคลื่อนไปยังหลอดนำอสุจิที่มีส่วนปลายต่ออยู่กับท่อปัสสาวะ

>> ขณะอสุจิเคลื่อนที่นั้น อสุจิจะไปรวมกับน้ำเลี้ยงอสุจิ (Seminal Fluid)

>> อสุจิที่รวมกับน้ำเลี้ยงอสุจิ จะเรียกว่า น้ำอสุจิ (Semen)

3) เมื่อหลั่งน้ำอสุจิจะถูกปล่อยออกมาทางปลายเปิดของท่อปัสสาวะที่ปลายอวัยวะเพศ

>> น้ำอสุจิหลั่งออกมาครั้งละประมาณ 3 ลูกบาศก์เซนติเมตร

>> มีอสุจิอยู่ในน้ำอสุจิครั้งละประมาณ 300 - 500 ล้านตัว

>> แต่ถ้าเป็นหมันจะมีอสุจิออกมาน้อยกว่า 30 - 50 ล้านตัว

>> อสุจิสามารถมีชีวิตอยู่ได้นาน 48 ชั่วโมงเมื่อเข้าสู่มดลูก

○ ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้อง

— ฟอลลิเคิลสติมูเลติงฮอร์โมน (Follicle Stimulating Hormone หรือ FSH)

- สร้างจากโกนาโดโทรปิกเซลล์ (Gonadotropic Cell) ที่ต่อมใต้สมองส่วนหน้า
- ทำหน้าที่กระตุ้นอัณฑะและหลอดสร้างอสุจิในเพศชายให้เจริญเติบโต

— ลูทีไนซิงฮอร์โมน (Luteinizing Hormone หรือ LH)

- สร้างจากโกนาโดโทรปิกเซลล์ (Gonadotropic Cell) ที่ต่อมใต้สมองส่วนหน้า
- ทำหน้าที่กระตุ้นการเจริญของหลอดสร้างอสุจิที่ผลิตฮอร์โมนเทสโทสเตอโรนของเพศชาย

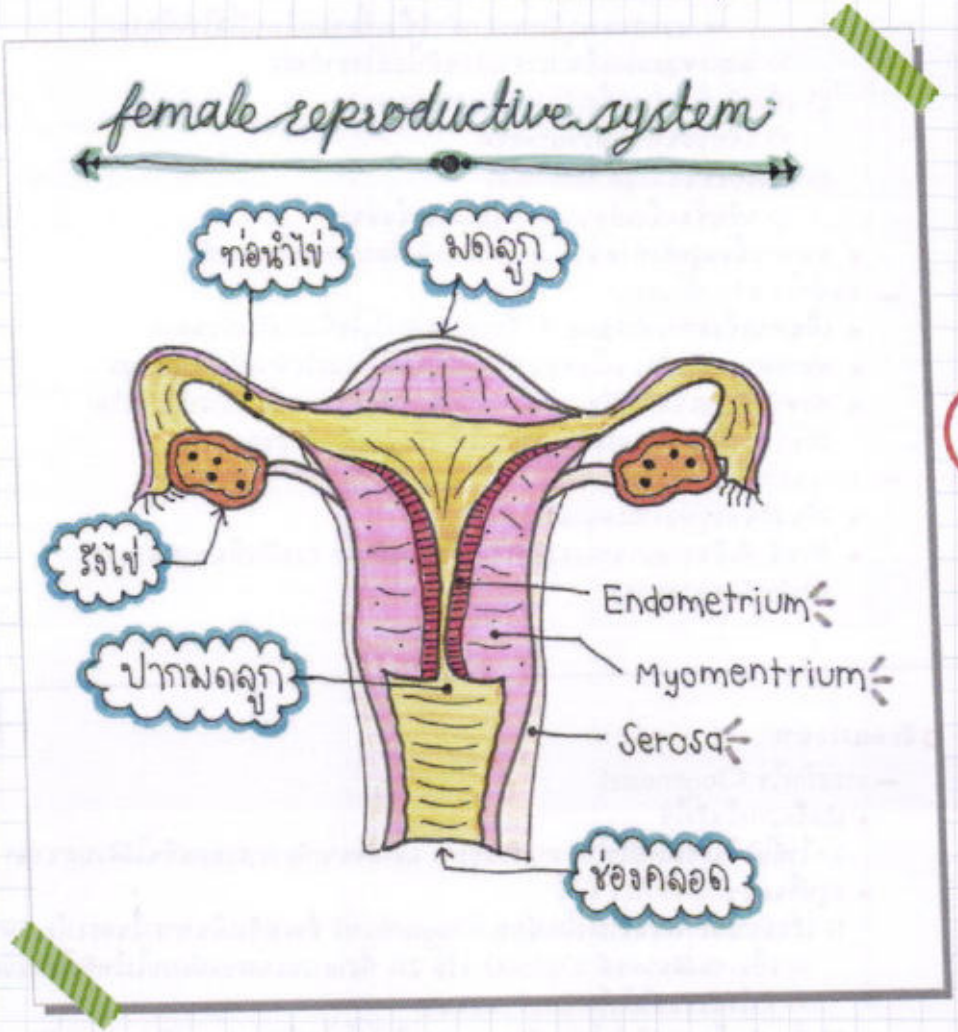
— เทสโทสเตอโรน (Testosterone)

- สร้างจากหลอดสร้างอสุจิในอัณฑะ
- ทำหน้าที่กระตุ้นการเจริญเติบโตที่แสดงลักษณะสำคัญของเพศชาย เช่น เสียงแตก มีหนวดเครา

— แอนโดรเจน (Androgen)

- สร้างจากต่อมหมวกไตชั้นนอก
- ทำหน้าที่ควบคุมลักษณะความเป็นชายเช่นกัน

ระบบสืบพันธุ์ในเพศหญิง (Female Reproductive System)



- อวัยวะสืบพันธุ์ของเพศหญิง ได้แก่
  - รังไข่
    - มี 2 รัง อยู่แต่ละข้างของมดลูก
    - ทำหน้าที่สร้างไข่และฮอร์โมนเพศหญิง
  - มดลูก
    - อยู่ระหว่างกระเพาะปัสสาวะกับทวารหนัก
    - ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ได้แก่

1) เนื้อเยื่อชั้นในเอนโดมีเทรียม (Endometrium)
>> เป็นที่ฝังตัวของไข่ซึ่งได้รับการผสมแล้ว
→ และต่อมาจะพัฒนาร่วมกับเนื้อเยื่อของเอ็มบริโอไปเป็นรก
>> แต่จะหลุดออกเป็นประจำเดือนถ้าไม่มีไข่มาฝังตัว
2) เนื้อเยื่อชั้นกล้ามเนื้อเรียบ (Myometrium)
>> เป็นส่วนที่บีบตัวขณะคลอด
3) เนื้อเยื่อชั้นนอกสุด (Serosa)
>> เป็นชั้นเนื้อเยื่อบางๆ ที่หุ้มกล้ามเนื้ออื่นไว้

- นอกจากนี้มดลูกยังทำหน้าที่เป็นที่เจริญเติบโตของทารกในครรภ์

— ท่อนำไข่ หรือ ปีกมดลูก
- เป็นทางเชื่อมยาวประมาณ 4 นิ้วอยู่ระหว่างรังไข่ทั้งสองข้างกับมดลูก
- ปลายด้านหนึ่งเปิดออกไปที่ช่องท้องส่วนปลาย และอีกข้างเปิดเข้าสู่มดลูก
- ทำหน้าที่เก็บเซลล์ไข่ที่หลุดออกจากรังไข่ เป็นบริเวณที่เกิดการปฏิสนธิกัน ระหว่างไข่กับอสุจิ และเป็นทางผ่านให้ไข่ที่ผสมแล้วเข้าสู่มดลูก

— ช่องคลอด
- เป็นส่วนที่อยู่ต่อจากมดลูกลงมา
- ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของอสุจิที่จะเข้าไปผสมกับไข่ รวมถึงเป็นทางออกของประจำเดือนและทารก

ลักษณะเฉพาะ

— การสร้างไข่ (Oogenesis)
- เกิดขึ้นภายในรังไข่
  >> ไข่ที่ได้เป็นเซลล์ที่มีไซโตพลาสซึมอยู่มาก และมีขนาดที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า
- สรุปขั้นตอนการสร้างไข่ ดังนี้
  1) เริ่มมีการสร้างเซลล์โอโอโกเนียม (Oogonium) ตั้งแต่ยังเป็นทารกในครรภ์มารดา
     >> เป็นเซลล์ดิพลอยด์ (Diploid) หรือ 2n ที่สามารถแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสได้ตลอด
     >> ทำให้มีเซลล์โอโอโกเนียมจำนวนมาก
  2) ตั้งแต่อยู่ในครรภ์ โอโอโกเนียมจะกลายเป็นโอโอไซต์ระยะแรก (Primary Oocyte)
     >> ซึ่งเป็นเซลล์ดิพลอยด์ (2n) เหมือนเดิม
     >> โดยจะมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสค้างอยู่ในระยะโพรเฟส 1

3) จากนั้นแต่ละเซลล์ของโอโอไซต์ระยะแรกจะถูกล้อมรอบด้วยเซลล์ฟอลลิเคิล (Follicular Cell)

>> เรียกรวมกันว่า ฟอลลิเคิลระยะแรก (Primary Follicular)

4) เมื่อเข้าสู่วัยรุ่นฮอร์โมน FSH จะกระตุ้นให้โอโอไซต์ระยะแรกแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสต่อ

>> ได้เป็นโอโอไซต์ระยะที่สอง (Secondary Oocyte) ที่มีขนาดใหญ่ 1 เซลล์

>> และโพลาร์บอดี (Polar Body) ขนาดเล็ก 1 เซลล์

>> ทั้ง 2 เซลล์เป็นเซลล์แฮพลอยด์ (n)

5) ต่อมาจึงมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเป็นครั้งที่ 2

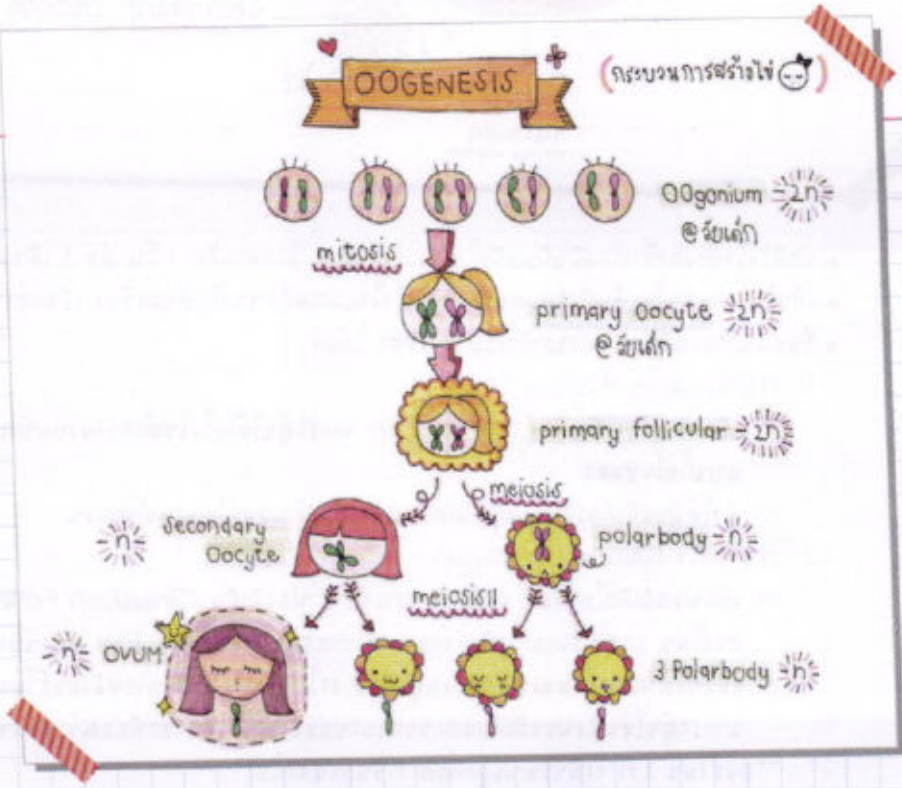
>> โอโอไซต์ระยะที่สองแบ่งเซลล์ได้เป็นเซลล์ไข่ที่มีขนาดใหญ่ และโพลาร์บอดีขนาดเล็ก

>> โพลาร์บอดีแบ่งเซลล์ได้เป็นโพลาร์บอดี 2 เซลล์

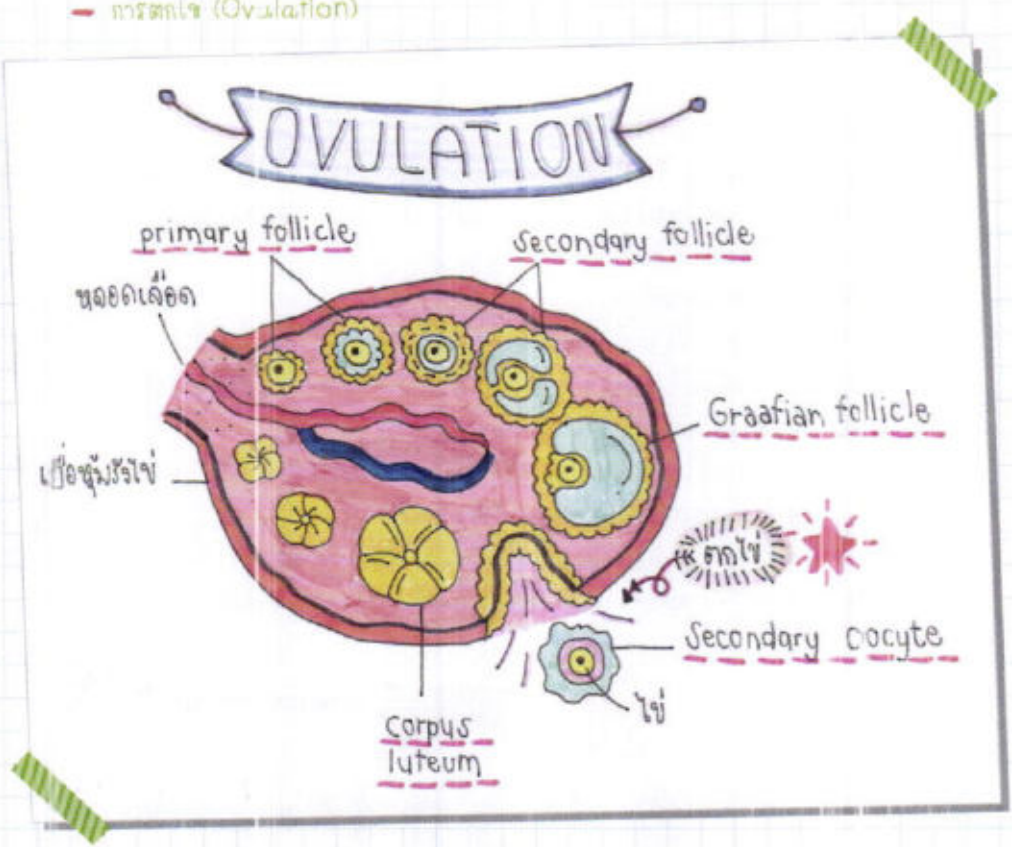
→ รวมมีเซลล์ไข่ 1 เซลล์และโพลาร์บอดี 3 เซลล์ ทั้งหมดเป็น (n) โดยโพลาร์บอดีทั้งหมดจะสลายไปในภายหลัง

6) เซลล์ไข่ที่ได้ปฏิสนธิกับอสุจิจะกลายเป็นไซโกตและเจริญเติบโตต่อไป

>> แต่เซลล์ไข่จะสลายตัวหากไม่ได้รับการปฏิสนธิภายใน 24 ชั่วโมง



การตกไข่ (Ovulation)



- ปกติรังไข่ทั้งสองข้างจะสลับกันผลิตไข่ในแต่ละเดือน โดยจะผลิต 1 ใบ ต่อ 1 เดือน
- เมื่อไข่อ่อนเติบโตเต็มที่จะหลุดออกมาจากรังไข่และเคลื่อนลงไปที่ช่องท้อง เรียกว่า ตกไข่
- ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงของรังไข่มี 3 ระยะ ได้แก่

1) ระยะก่อนตกไข่ (Follicle Stage)
   - >> เมื่อเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ ฮอร์โมน FSH จะกระตุ้นให้โอโอไซต์ระยะแรกแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสต่อ
   - >> ทำให้ฟอลลิเคิลระยะแรกเริ่มโตขึ้นและเริ่มสร้างฮอร์โมนเอสโตรเจน
2) ระยะตกไข่ (Ovulation Stage)
   - >> เมื่อฟอลลิเคิลโตเต็มที่ เรียกว่า กราเฟียน ฟอลลิเคิล (Graafian Follicle) ฮอร์โมน เอสโตรเจนที่หลั่งออกมา จะไปกระตุ้นให้ฮอร์โมน FSH หลั่งน้อยลง
   - >> เมื่อปริมาณฮอร์โมนเอสโตรเจนสูงที่สุด จะไปกระตุ้นให้เกิดการหลั่งฮอร์โมน LH มากระตุ้นให้ผนังฟอลลิเคิลแตกออกและปล่อยโอโอไซต์ระยะที่สองเข้าสู่ท่อนำไข่

ฮอร์โมน LH จะมีปริมาณสูงที่สุด 1 วันก่อนตกไข่

3) ระยะหลังตกไข่ (Corpus Luteum Stage)

>> ฟอลลิเคิลเดิมจะกลายเป็นสีเหลือง เรียกว่า คอร์ปัสลูเทียม (Corpus Luteum)

→ ที่สร้างฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน และสร้างฮอร์โมนเอสโตรเจนได้เล็กน้อย ซึ่งจะส่งผลให้ฮอร์โมน FSH และ LH มีค่าต่ำลง

>> ถ้าไข่ไม่ถูกผสม ในอีก 2 สัปดาห์ต่อมาคอร์ปัสลูเทียมจะกลายเป็นสีขาว เรียกว่า คอร์ปัสแอลบิแคนส์ (Corpus Albicans) ที่ไม่ได้สร้างอะไร

>> ถ้าไข่ถูกผสม คอร์ปัสลูเทียมจะเจริญไปอีกหลายเดือน เพื่อสร้างฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน ทำให้ผนังมดลูกมีความหนา และจะค่อยๆ ฝ่อไปเป็นคอร์ปัสแอลบิแคนส์ภายหลัง

— การตั้งครรภ์ (Pregnancy)

- หลังมีเพศสัมพันธ์ถ้าฝ่ายหญิงอยู่ในช่วงตกไข่ จะเกิดการปฏิสนธิของไข่กับอสุจิที่บริเวณท่อนำไข่
- ไข่ที่ผสมแล้วจะกลายเป็นไซโกต ซึ่งจะแบ่งตัวจนเป็นเอ็มบริโอและเคลื่อนไปฝังตัวที่ผนังมดลูก
- ฮอร์โมนโปรเจสเตอโรนที่สร้างจากคอร์ปัสลูเทียม จะทำงานร่วมกับเอสโตรเจนที่สร้างจากฟอลลิเคิล

  >> เพื่อกระตุ้นให้เยื่อบุผนังมดลูกชั้นในหนาขึ้น และมีหลอดเลือดฝอยมากขึ้น
- หลังการปฏิสนธิประมาณ 1 สัปดาห์

  >> เซลล์ของรกจะหลั่งฮอร์โมนฮิวแมนคอริโอนิกโกนาโดโทรปิน (Human Chorionic Gonadotropin หรือ HCG) ซึ่งตรวจพบได้ในปัสสาวะ และเลือด

— การมีประจำเดือน (Menstruation)

- เกิดจากผนังมดลูกชั้นใน ซึ่งถูกทำให้หนาขึ้นมีการหลุดลอก เพราะไข่ที่ตกไม่ได้รับการผสมจึงไม่มีการฝังตัว

  >> ทำให้ฮอร์โมนเอสโตรเจนและโปรเจสเตอโรนลดลง

  >> ฮอร์โมน FSH และ LH เพิ่มขึ้น เกิดการกระตุ้นให้เกิดการตกไข่อีกครั้ง
- โดยทั่วไปแล้วเพศหญิงจะเริ่มมีประจำเดือนเมื่ออายุประมาณ 12 ปีขึ้นไป
- แต่ละคนจะมีรอบของการมีประจำเดือนแตกต่างกัน ทั่วไปจะเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 28 วัน
- หากไม่มีการตั้งครรภ์ เพศหญิงจะมีประจำเดือนไปทุกเดือนจนกว่าจะถึงวัยหมดประจำเดือน

— การหมดประจำเดือน (Menopause)

- วัยหมดประจำเดือนในเพศหญิง เฉลี่ยจะอยู่ในช่วงอายุประมาณ 45 – 55 ปี
- อาการเตือน เช่น ประจำเดือนมาไม่สม่ำเสมอ มีปัญหาเกี่ยวกับช่องคลอด กลั้นปัสสาวะยาก เป็นต้น

- เมื่อหมดประจำเดือน จะทำให้
  >> รังไข่หยุดทำงาน >> ไม่มีการตกไข่ >> ไม่มีประจำเดือน >> ไม่มีฮอร์โมนเพศหญิงที่ผลิตจากรังไข่
  >> การที่ฮอร์โมนเอสโตรเจนและโปรเจสเตอโรนต่ำลง ทำให้เกิดอาการที่เรียกว่า วัยทอง

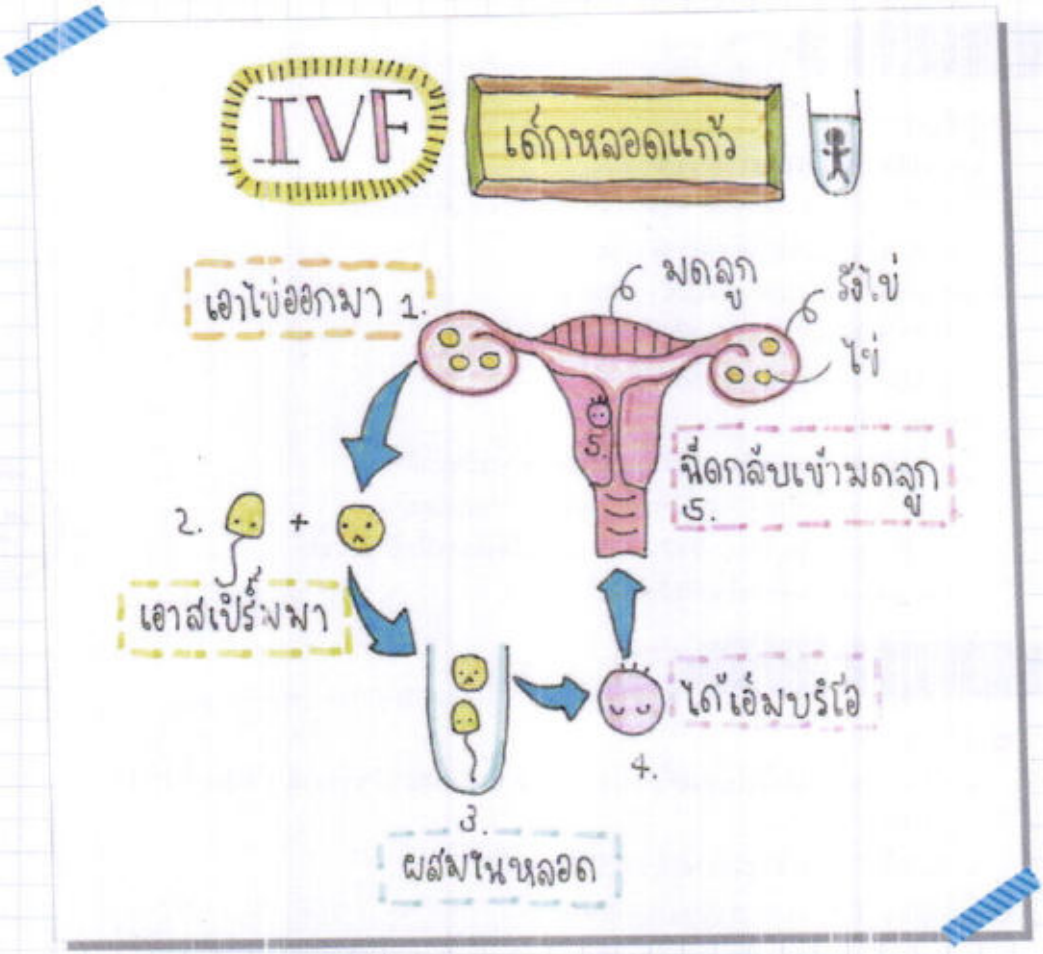
- ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้อง
  - **ฟอลลิเคิลสติมูเลติงฮอร์โมน** (Follicle Stimulating Hormone หรือ FSH)
    >> สร้างจากโกนาโดโทรปิกเซลล์ (Gonadotropic Cell) ที่ต่อมใต้สมองส่วนหน้า
    >> ทำหน้าที่กระตุ้นให้เกิดการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสของโอโอไซต์ระยะแรก และกระตุ้นการเจริญของฟอลลิเคิลในรังไข่ของเพศหญิงที่ผลิตฮอร์โมนเอสโตรเจน
  - **ลูทิไนซิงฮอร์โมน** (Luteinizing Hormone หรือ LH)
    >> สร้างจากโกนาโดโทรปิกเซลล์ (Gonadotropic Cell) ที่ต่อมใต้สมองส่วนหน้า
    >> ทำหน้าที่กระตุ้นการตกไข่ในเพศหญิง และกระตุ้นการเจริญของคอร์ปัสลูเทียมที่ผลิตฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน
  - **เอสโตรเจน** (Estrogen)
    >> สร้างจากฟอลลิเคิลในรังไข่ จากคอร์ปัสลูเทียมเล็กน้อย และสร้างจากรกในระยะหลังของการตั้งครรภ์
    >> ทำหน้าที่ควบคุมความเป็นหญิง เช่น มีหน้าอก และสะโพกผาย
  - **โปรเจสเตอโรน** (Progesterone)
    >> สร้างจากคอร์ปัสลูเทียม และสร้างจากรกในระยะหลังของการตั้งครรภ์
    >> ทำหน้าที่ให้ผนังมดลูกหนาเหมาะกับการตั้งครรภ์
  - **ฮิวแมนคอริโอนิกโกนาโดโทรปิน** (Human Chorionic Gonadotropin หรือ HCG)
    >> สร้างจากรก
    >> ทำหน้าที่กระตุ้นการเจริญเติบโตของรกและมดลูก รวมถึงช่วยให้คอร์ปัสลูเทียมในรังไข่มีอายุนานขึ้น
  - **ออกซิโทซิน** (Oxytocin)
    >> สร้างจากต่อมใต้สมองส่วนหลัง
    >> ทำหน้าที่กระตุ้นกล้ามเนื้อเรียบที่รอบต่อมน้ำนมให้หลั่งน้ำนมออกมา รวมถึงที่ผนังมดลูกขณะคลอด
  - **โปรแลคติน** (Prolactin)
    >> สร้างจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า
    >> ทำหน้าที่กระตุ้นให้ต่อมน้ำนมผลิตน้ำนม

ภาวะมีบุตรยาก (Infertility)

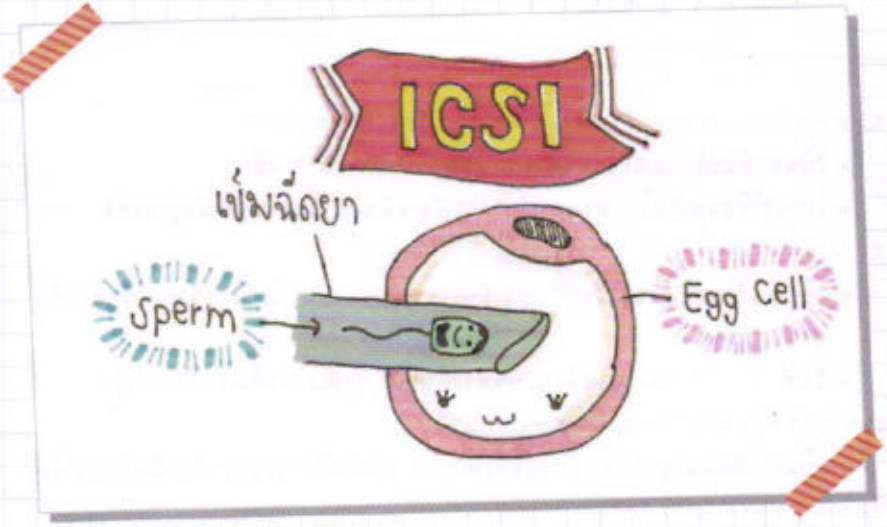
- อาจมีสาเหตุมาจาก
  - **ความผิดปกติของฝ่ายชาย** เช่น
    - >> การมีอสุจิน้อยกว่าปกติ หรือมีทิศทางการเคลื่อนที่ที่ผิดปกติ
    - >> ท่อรับอสุจิตันทำให้หลั่งอสุจิออกมาไม่ได้
    - >> ค่าความเป็นกรด–เบสในน้ำอสุจิผิดปกติ
    - >> การขาดน้ำตาลฟรุกโตสซึ่งเป็นอาหารสำคัญของอสุจิ
    - >> เกิดการติดเชื้อทำให้อสุจิตาย
  - **ความผิดปกติของฝ่ายหญิง** เช่น
    - >> ไม่มีช่องคลอด หรือช่องคลอดรวมถึงท่อนำไข่ผิดปกติ
    - >> ค่าความเป็นกรด–เบสที่ปากมดลูกหรือช่องคลอดผิดปกติ
    - >> เยื่อบุผนังมดลูกผิดปกติหรือมีเนื้องอกทำให้เอ็มบริโอฝังตัวไม่ได้
    - >> ขาดฮอร์โมนที่ช่วยในการตั้งครรภ์

วิธีรักษาภาวะมีบุตรยาก (Fertility and Infertility Treatment) เช่น

- การผสมเทียม
  - เป็นการฉีดอสุจิเข้าไปในช่วงที่มีการตกไข่ภายในอวัยวะสืบพันธุ์ของฝ่ายหญิงเพื่อให้เกิดการปฏิสนธิ
  - จะใช้วิธีนี้ในกรณีที่อสุจิของฝ่ายชายมีคุณภาพต่ำ
- การปฏิสนธินอกร่างกาย หรือการทำเด็กหลอดแก้ว (In Vitro Fertilization หรือ IVF)
  - เป็นการนำไข่และอสุจิมาผสมกันในหลอดแก้ว แล้วนำตัวอ่อนระยะฝังตัวใส่กลับเข้าสู่ปากมดลูก
  - จะใช้วิธีนี้ในกรณีที่ท่อนำไข่ตีบตันทั้ง 2 ข้าง และอสุจิของฝ่ายชายมีคุณภาพต่ำ



- การทำซิฟ (Zygote Intrafallopian Transfer หรือ ZIFT)
  - เหมือนกับการทำเด็กหลอดแก้ว แต่จะเป็นการนำตัวอ่อนไปใส่ที่ท่อนำไข่โดยการเจาะผ่านทางหน้าท้อง
  - ดังนั้นฝ่ายหญิงจะต้องมีท่อนำไข่ที่สามารถใช้งานได้อย่างน้อย 1 ข้าง
- การทำกิฟ (Gamete Intrafallopian Tube Transfer หรือ GIFT)
  - เป็นการนำไข่และอสุจิไปใส่ไว้ที่ท่อนำไข่โดยตรง และรอให้เกิดการปฏิสนธิกันตามธรรมชาติ
  - เป็นวิธีที่ค่อนข้างทำให้เสียเวลาและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย
- การทำอิ๊ดซี่ (Intra-Cytoplasmic Sperm Injection หรือ ICSI)
  - เป็นการใส่อสุจิที่ดีที่สุด 1 ตัวเข้าไปในเนื้อไข่ของไข่ที่สมบูรณ์โดยตรง 1 ใบ
  - จะใช้วิธีนี้ในกรณีที่อสุจิอ่อนแอมากๆ และเคยล้มเหลวจากการทำเด็กหลอดแก้วมาแล้ว



- การอุ้มบุญ (Surrogate Mother)
  - เป็นการนำตัวอ่อนที่ได้จากการปฏิสนธิของไข่และอสุจิของคู่ชายหญิงใส่เข้าไปในโพรงมดลูกของหญิงอีกคนซึ่งรับหน้าที่เป็นแม่อุ้มบุญเพื่อให้ตั้งครรภ์แทน

การเกิดฝาแฝด

(Twins) แบ่งออกเป็น

- ฝาแฝดร่วมไข่ หรือ ฝาแฝดเหมือน หรือ แฝดแท้ (Identical Twin)
  - เป็นฝาแฝดที่เกิดจากอสุจิ 1 ตัว และไข่ 1 ใบ
  - ทำให้ฝาแฝดมีเพศเดียวกัน มีลักษณะทางพันธุกรรมเหมือนกัน บางครั้งอาจทำให้มีร่างกายติดกัน
- ฝาแฝดต่างไข่ หรือ ฝาแฝดคล้าย หรือ แฝดเทียม (Fraternal Twin)
  - เป็นฝาแฝดที่เกิดจากอสุจิคนละตัว และไข่คนละใบ
  - ทำให้ฝาแฝดมีเพศเดียวกันหรือต่างเพศก็ได้ และมีลักษณะทางพันธุกรรมต่างกัน

วิธีการคุมกำเนิด

(Contraception) เช่น

- ถุงยางอนามัย (Condom)
  - เป็นการป้องกันไม่ให้ออกอสุจิไปผสมกับไข่ได้
  - รวมถึงช่วยป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์
- ยาเม็ดสำหรับคุมกำเนิด (Birth Control Pill)
  - เป็นยาที่ใส่ฮอร์โมนเอสโตรเจนกับโปรเจสเตอโรน
  - ทำให้สภาพภายในมดลูกไม่เหมาะกับการฝังตัวของไข่ เช่น ปากมดลูกเหนียวทำให้อสุจิเคลื่อนที่ไม่สะดวก

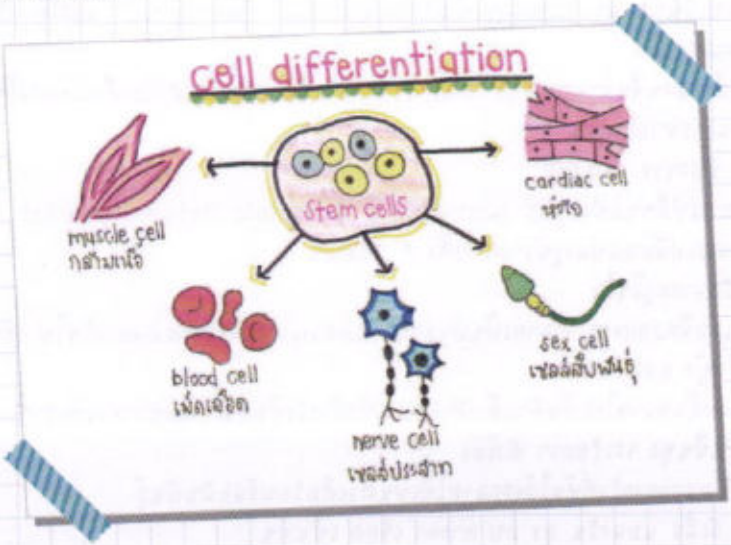
- ยาคุมกำเนิดแบบฉุกเฉิน (Emergency Contraceptive)
  - เป็นยาที่มีปริมาณฮอร์โมนสูงมาก โดยแผงหนึ่งจะมี 2 เม็ด
  - ไม่ควรใช้บ่อยเกินไป ส่วนมากใช้ในกรณีฉุกเฉินเท่านั้น เช่น เมื่อถูกข่มขืน
- การนับระยะปลอดภัย (Calendar Charting)
  - เป็นการมีเพศสัมพันธ์ก่อนหรือหลังมีประจำเดือน 7 วัน โดยเริ่มนับจากวันแรกที่มีประจำเดือน
  - วันที่ 7 – 21 ของรอบเดือนเป็นช่วงที่ตกไข่ ซึ่งมีโอกาสตั้งครรภ์มากที่สุด
- การทำหมันชาย (Male Sterilization)
  - เป็นการตัดและผูกท่อนำน้ำอสุจิทั้งสองข้าง เพื่อไม่ให้อสุจิลงมาที่ถุงผักเชื้อกอสุจิได้
- การทำหมันหญิง (Female Sterilization)
  - เป็นการตัดท่อรังไข่และผูกไม่ให้รังไข่ต่อกับมดลูก

บทที่ 18
การเจริญเติบโตของสัตว์

1. กระบวนการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต

มีด้วยกัน 4 กระบวนการ ได้แก่

- การเพิ่มจำนวนเซลล์ (Cell Multiplication)
  - ในสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว ถือว่าการแบ่งเซลล์เป็นการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ
  - สิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ มีการแบ่งเซลล์ของไซโกตเพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์แต่ยังไม่มีการเติบโตแบบเจาะจง
    - โดยแบบแผนการแบ่งเซลล์ของไซโกตนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณและการกระจายตัวของไข่แดงในเซลล์ไข่
- การเพิ่มขนาดของเซลล์หรือการเติบโต (Growth)
  - เมื่อเซลล์ที่แบ่งตัวออกมาได้รับสารอาหารเพียงพอจะทำให้เกิดการเพิ่มขนาดของเซลล์
- การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกลุ่มเซลล์ (Cell Differentiation)
  - กลุ่มเซลล์ที่มีจำนวนและขนาดของเซลล์เพียงพอจะเริ่มเปลี่ยนไปเป็นเซลล์ที่มีลักษณะเฉพาะ
  - เพื่อให้เซลล์ได้ทำหน้าที่เฉพาะอย่างต่อไป เช่น กลายไปเป็นเซลล์เม็ดเลือดและเซลล์ประสาท



- การเกิดรูปร่างที่แน่นอน หรือมอร์โฟเจเนซิส (Morphogenesis)
  - เซลล์ที่มีลักษณะเฉพาะต่างๆ จะรวมกลุ่มเซลล์ที่เป็นแบบเดียวกัน
  - เกิดเป็นเนื้อเยื่อและพัฒนาไปเป็นอวัยวะที่มีรูปร่างแน่นอน

2. รูปแบบของการเจริญเติบโต

แบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่

- แบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Ametamorphosis)
  - เมื่อออกจากไข่ ตัวอ่อนที่ฟักออกมาจะมีลักษณะคล้ายพ่อแม่แต่มีขนาดเล็กกว่า โดยจะค่อยๆ ขยายขนาดขึ้นเรื่อยๆ เช่น สุนัข แมว ม้า โลมา นก จระเข้ แมลงหางดีด แมลงสองง่าม แมลงสามง่าม
- แบบมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทีละน้อย (Gradual Metamorphosis)
  - เป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบ 3 ขั้นตอนแบบค่อยเป็นค่อยไป
    1) เริ่มจากอยู่ในไข่
    2) จากนั้นฟักออกจากไข่กลายเป็นตัวอ่อน (Nymph) ที่คล้ายกับตัวเต็มวัย แต่บางอวัยวะยังไม่โตเต็มที่
    3) และจะมีการลอกคราบหลายครั้งจนกระทั่งโตเต็มวัย
  - เช่น เหา ปลวก ตั๊กแตน แมลงสาบ และจิ้งหรีด
- แบบมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete Metamorphosis)
  - เป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบ 3 ขั้นตอน
    1) เริ่มจากอยู่ในไข่
    2) จากนั้นฟักออกจากไข่กลายเป็นตัวอ่อน (Niad) ที่ต้องอยู่ในน้ำ และใช้เหงือกในการหายใจ
    3) เมื่อโตจนขึ้นมาอยู่บนบก จะมีการลอกคราบให้กลายเป็นตัวโตเต็มวัยและใช้ปอดในการหายใจแทน
  - เช่น ชีปะขาว แมลงปอ
- แบบมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบสมบูรณ์ (Complete Metamorphosis)
  - เป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างครบทั้ง 4 ขั้นตอน
    1) เริ่มจากอยู่ในไข่
    2) แล้วฟักออกจากไข่กลายเป็นตัวอ่อน (Larva) ที่จะเรียกแตกต่างกันไป เช่น ตัวบุ้ง และหนอน
    3) จากนั้นกลายไปเป็นดักแด้ (Pupa) ที่สร้างรังหุ้มตัวเองไม่มีการลอกคราบ ถ้าเป็นยุง จะเรียกว่า ตัวโม่ง
    4) เมื่อออกจากรังที่หุ้มไว้จะกลายไปเป็นตัวเต็มวัยพร้อมสืบพันธุ์
  - เช่น ผีเสื้อ แมลงวัน ยุง กบ คางคก เขียด เป็นต้น

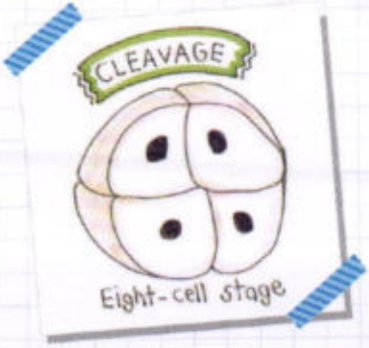
3. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต ได้แก่

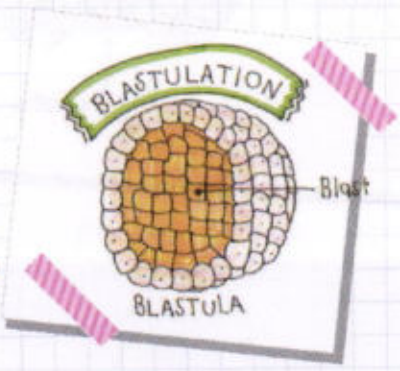
- ปัจจัยทางพันธุกรรม
  - เพราะตัวอ่อนที่เกิดมาจะมีขั้นตอนการเจริญเติบโตเหมือนกับพ่อแม่ ไม่ว่าสิ่งแวดล้อมจะเป็นแบบใด
  - แม้ว่าขั้นตอนจะเหมือนกัน แต่อัตราการเจริญเติบโตของรุ่นลูกและรุ่นพ่อแม่อาจไม่เหมือนกันก็ได้
- ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม
  - ปัจจัยทางกายภาพ เช่น แสงแดด อุณหภูมิ และฮอร์โมน
  - ปัจจัยทางชีวภาพ เช่น พยาธิและไวรัสที่เข้ามารบกวนการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต

4. ขั้นตอนการแบ่งเซลล์ของไซโกตในสิ่งมีชีวิต

แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

1) คลีเวจ (Cleavage)
   - เป็นการแบ่งตัวแบบไมโทซิสของไซโกตอย่างรวดเร็ว
   - ยิ่งแบ่งเซลล์ เซลล์ที่ได้จะยิ่งมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ ลักษณะคล้ายผลน้อยหน่า
   - เมื่อสิ้นสุดขั้นนี้จะได้เป็นเอ็มบริโอที่มีเซลล์เล็กๆ จำนวนมาก
   - โดยเอ็มบริโอที่อยู่ในระยะนี้ เรียกว่า มอรูลา (Morula)
2) บลาสทูเลชัน (Blastulation)
   - เป็นขั้นที่เซลล์ของเอ็มบริโอจำนวนมากมาเรียงตัวเป็นชั้นภายนอกจนเกิดเป็นช่องว่างตรงกลาง
   - ภายในที่เป็นโพรงตรงกลางมีของเหลวอยู่ เรียกว่า บลาสโทซีล (Blastocoel)
   - โดยเอ็มบริโอที่อยู่ในระยะนี้ เรียกว่า บลาสทูลา (Blastula)





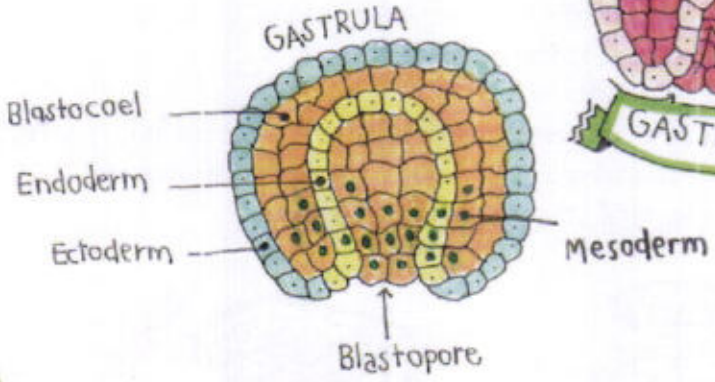
3) แกสทรูเลชัน (Gastrulation)

- เป็นการเคลื่อนที่และจัดเรียงตัวของเซลล์ให้เกิดเป็นเนื้อเยื่อชั้นต่างๆ ของเอ็มบริโอ (Embryonic Germ Layer)
- โดยเซลล์จะเว้าเข้าด้านใน และมีวนตัวเข้าไปตรงกลางจนเกิดเป็นช่องว่างและเนื้อเยื่อของเอ็มบริโอ
- เนื้อเยื่อของเอ็มบริโอที่ได้ ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ได้แก่
  - เอกโตเดิร์ม (Ectoderm) เป็นเนื้อเยื่อชั้นนอกสุด
  - เมโซเดิร์ม (Mesoderm) เป็นเนื้อเยื่อชั้นกลาง
  - เอนโดเดิร์ม (Endoderm) เป็นเนื้อเยื่อชั้นในสุด
- โดยเอ็มบริโอที่อยู่ในระยะนี้ เรียกว่า แกสทรูลา (Gastrula)

4) ออร์แกโนเจเนซิส (Organogenesis)

- เป็นการเจริญไปเป็นอวัยวะต่างๆ ในระบบอวัยวะของร่างกาย

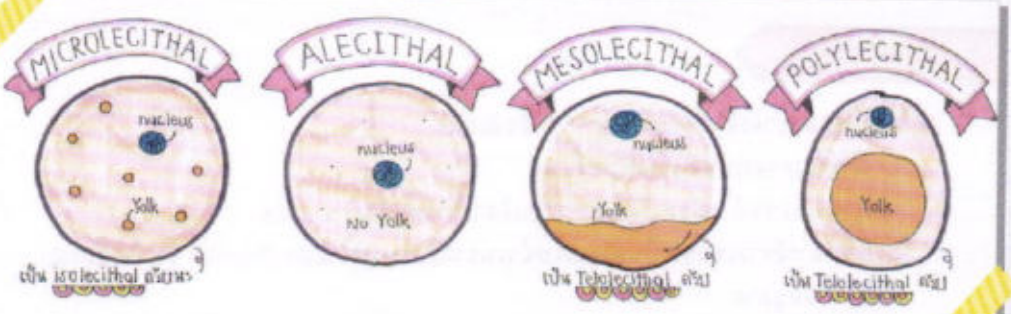
ขั้นตอนการแบ่งเซลล์ของไซโกต



ข้อสังเกต

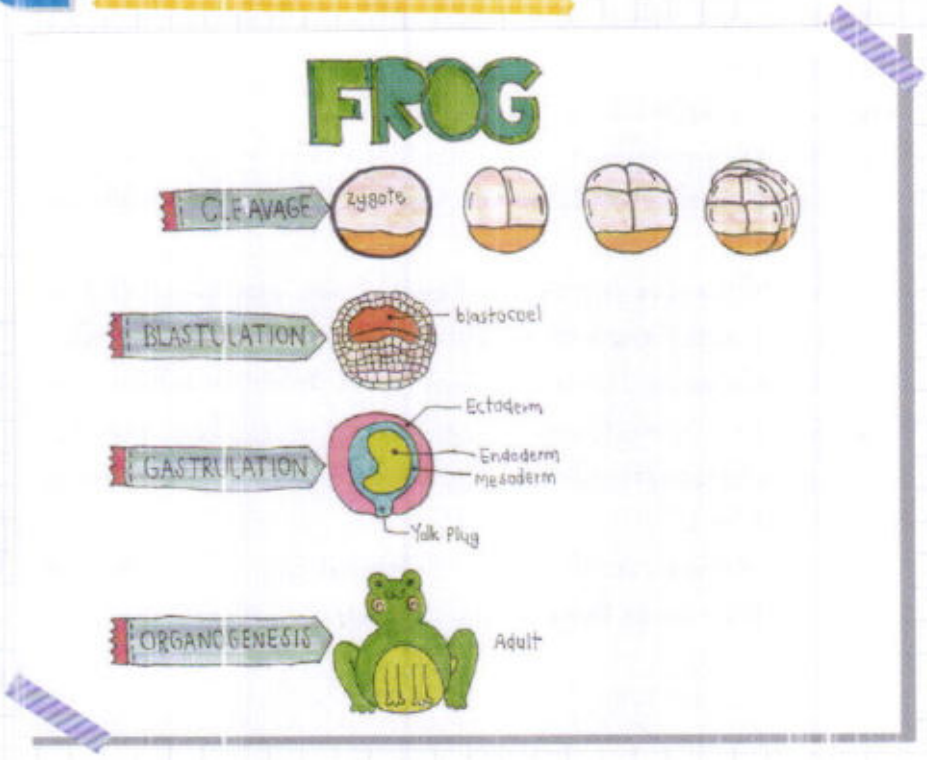
- สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดอาจมีขั้นตอนที่ 1 – 3 แตกต่างกันไปบ้าง ขึ้นอยู่กับปริมาณและการกระจายของไข่แดง
- สามารถแบ่งชนิดของไข่ตามลักษณะของไข่แดง ดังนี้
  - แบ่งตามปริมาณของไข่แดง (Amount of Yolk) เป็น 4 ชนิด ได้แก่
    1) ไข่ที่มีไข่แดงน้อยมากหรือไม่มีเลย (Alecithal Egg) >> เช่น สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม
    2) ไข่ที่มีไข่แดงน้อย (Microlecithal Egg) >> เช่น ดาวทะเล และปลิงทะเล
    3) ไข่ที่มีไข่แดงปานกลาง (Mesolecithal Egg) >> เช่น สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ
    4) ไข่ที่มีไข่แดงมาก (Polylecithal Egg) >> เช่น สัตว์ปีก และสัตว์เลื้อยคลาน
  - แบ่งตามการกระจายของไข่แดง (Distribution of Yolk) เป็น 2 ชนิด ได้แก่
    1) ไข่ที่มีไข่แดงกระจายสม่ำเสมอ (Isolecithal Egg) >> เช่น ดาวทะเล และปลิงทะเล
    2) ไข่ที่มีไข่แดงรวมอยู่ด้านเดียว (Telolecithal Egg) >> เช่น สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ สัตว์ปีก สัตว์เลื้อยคลาน และแมลง

แท้จริงแล้วไข่แดงก็คืออาหารของเอ็มบริโอนั่นเอง



- นอกจากนี้เอ็มบริโอของสัตว์ สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่
  - เอ็มบริโอที่มีการเจริญภายนอกตัวแม่
    >> ต้องมีโครงสร้างภายนอกมาห่อหุ้มเพื่อป้องกันอันตราย เช่น เปลือกไข่
  - เอ็มบริโอที่มีการเจริญภายในตัวแม่
    >> ไม่ต้องมีโครงสร้างภายนอกมาหุ้ม

5. การเจริญเติบโตของกบ



เซลล์ไข่ของกบ

- เป็นเซลล์ขนาดเล็กประมาณ 1 – 2 มิลลิเมตร
  - ด้านนอกของเซลล์ไข่จะมีวุ้นหุ้มอยู่
  - ด้านบนเซลล์ไข่มีรงควัตถุสีเทาเข้มเกือบดำอยู่อย่างหนาแน่น
  - ด้านล่างสีขาวเหลืองเป็นส่วนที่จมน้ำเพราะมีปริมาณไข่แดง (York) ซึ่งเป็นที่สะสมอาหารอยู่มาก

เอ็มบริโอของกบ

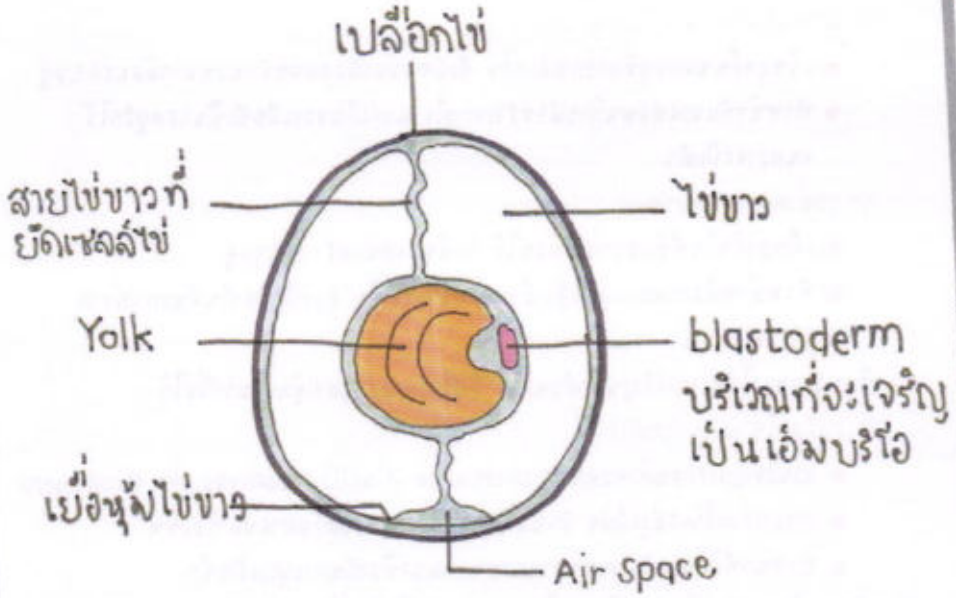
- มีการเจริญเติบโตแบบ 4 ขั้นตอน ได้แก่ คลีเวจ บลาสทูเลชัน แกสทรูเลชัน และออร์แกโนเจเนซิส

เมื่อออกจากไข่

- กบจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลายครั้งจนกว่าจะมีลักษณะคล้ายกับพ่อแม่
  >> ตัวอ่อนของกบเรียกว่าลูกอ๊อด >> ต่อมากลายเป็นลูกกบที่ยังมีหาง >> และโตเป็นกบสมบูรณ์วัย
- รูปแบบของการเจริญเติบโตแบบนี้ เรียกว่า การเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบสมบูรณ์ (Complete Metamorphosis) มีฮอร์โมนไทรอกซินกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโต

6. การเจริญเติบโตของไก่

CHICK DEVELOPMENT



เซลล์ไข่ของไก่

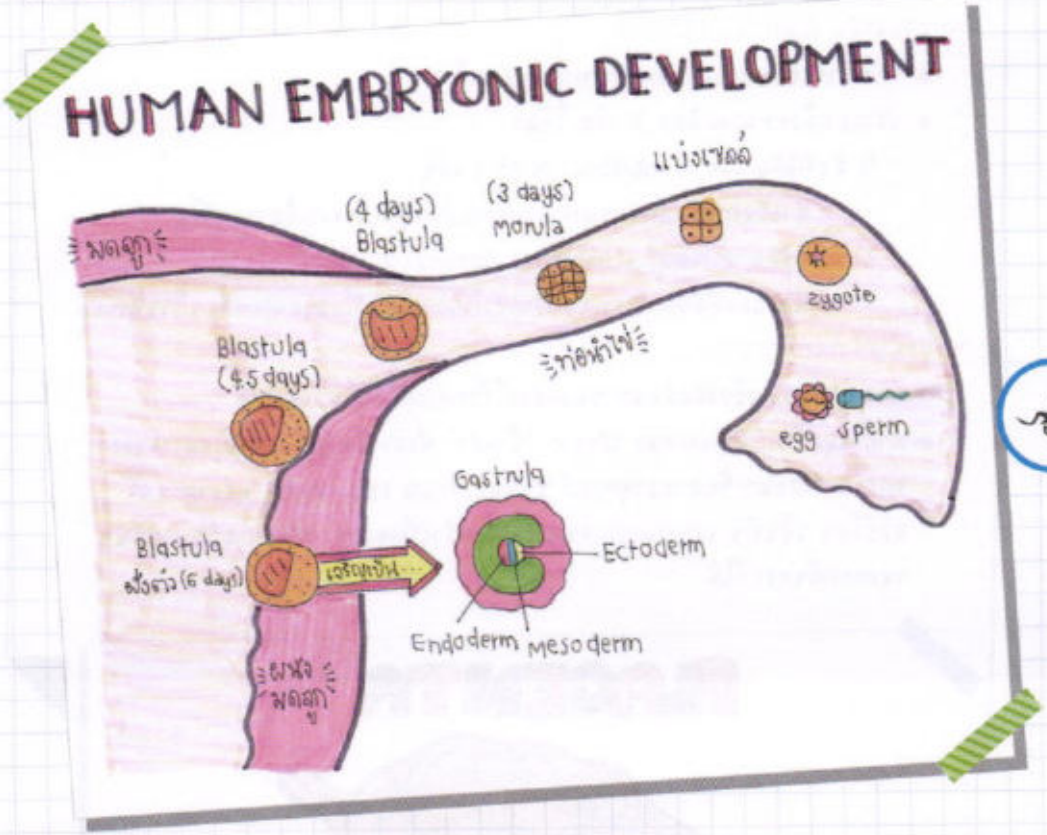
- คือส่วนที่เป็นเฉพาะไข่แดง ซึ่งไข่แดงมีปริมาณมาก จึงเป็นเซลล์ที่มีขนาดใหญ่ แต่บริเวณที่จะเกิดการปฏิสนธิคือจุดบนไข่แดง 1 จุด ที่ไม่มีไข่แดงและอยู่ใกล้กับผิวเซลล์เท่านั้น
  >> บริเวณนี้เป็นบริเวณที่มีนิวเคลียสและไซโตพลาสซึมอยู่ เรียกว่า บริเวณเจอมินัล (Germinal Disc)
- ไข่ขาวและเปลือกไข่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของเซลล์ไข่ แต่เป็นส่วนประกอบอื่นที่อยู่นอกเซลล์ไข่

เอ็มบริโอของไก่

- มีการเจริญเติบโตตามขั้นตอนทั้ง 4 ขั้นตอนเหมือนกบ
  >> แต่มีแบบแผนการแบ่งตัวของไซโกตต่างกัน เพราะไก่มีปริมาณและการกระจายตัวของไข่แดงต่างจากกบ
- เอ็มบริโอของไก่จะถูกหุ้มด้วยถุง 2 ชั้น ได้แก่
  >> แอลแลนทอยส์ (Allantois)
  - เป็นถุงชั้นนอกอยู่ชิดกับเปลือกไข่ ซึ่งมีหลอดเลือดฝอยจำนวนมากล้อมรอบอยู่
  - ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนก๊าซสำหรับหายใจ และเก็บของเสียที่เป็นกรดยูริกไว้จนกว่าจะฟักตัว
  >> ถุงน้ำคร่ำ (Amnion)
  - เป็นถุงชั้นในที่หุ้มรอบตัวอ่อนไว้ ข้างในถุงมีน้ำคร่ำบรรจุอยู่
  - ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียน้ำและความชุ่มชื้น รวมถึงป้องกันอันตรายจากการกระเทือน
- เอ็มบริโอของไก่มีการเจริญนอกตัวแม่ไก่ จึงมีส่วนนอกสุดที่หุ้มเอ็มบริโอไว้
  >> เปลือกไข่ (Egg Shell)
  - ส่วนใหญ่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และคอลลาเจน (Collagen)
  - บนเปลือกไข่จะมีรูเล็กๆ จำนวนมาก แต่เรามองด้วยตาเปล่าไม่เห็น
  - ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายจากภายนอกและป้องกันการสูญเสียน้ำ
- หลังจากฟักออกมาเป็นตัวแล้ว ลูกไก่จะเจริญเติบโตขึ้นเรื่อยๆ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงแบบเมตามอร์โฟซิส

7. การเจริญเติบโตของมนุษย์

สรุปขั้นตอน การเจริญเติบโตของมนุษย์ในระยะเอ็มบริโอ ดังนี้



- หลังจากเซลล์ไข่ปฏิสนธิกับอสุจิจะได้เป็นไซโกตอยู่ที่บริเวณท่อนำไข่ส่วนต้น
- ไซโกตในระยะคลีเวจจะแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสหลายครั้ง ได้เป็นก้อนกลมเรียกว่า มอรูลา (Morula)
- จากนั้นเมื่อมีอายุประมาณ 7 วัน มอรูลาจะเปลี่ยนเป็นเอ็มบริโอในขั้นบลาสทูลา
  >> ในมนุษย์มีลักษณะเป็นถุง จึงเรียกว่า บลาสโตซิสต์ (Blastocyst)
- เมื่ออายุได้ 9 วัน จะไปฝังตัวในผนังชั้นเอนโดมีเทรียมซึ่งเป็นชั้นในสุดของมดลูก และช่วงนี้จะมีการสร้างอวัยวะดังต่อไปนี้

>> รก (Placenta)

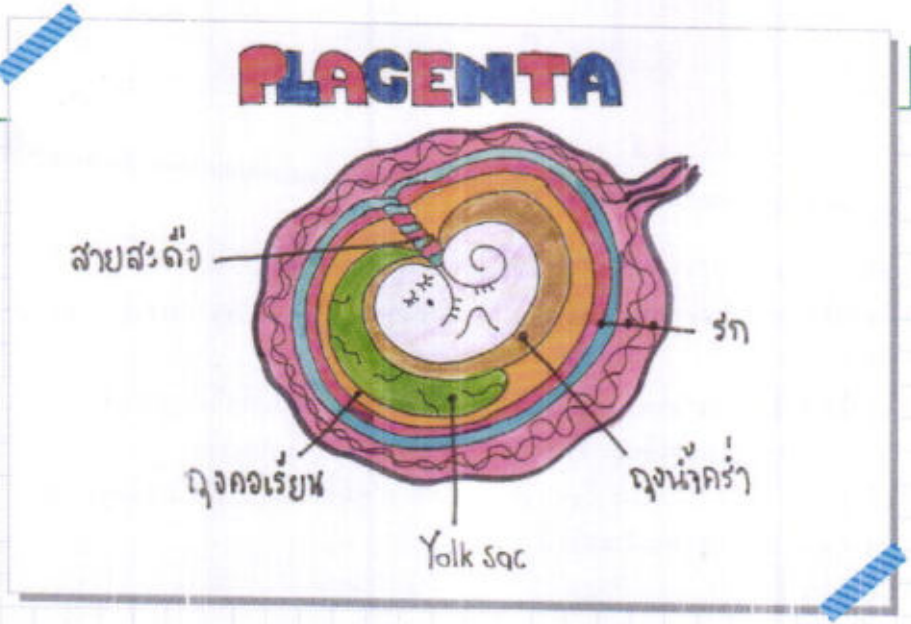
- เป็นส่วนที่เจริญมาจากถุงคอเรียนที่รวมกับเนื้อเยื่อชั้นเอนโดมีเทรียมของผนังมดลูก โดยถุงคอเรียน (Chorion) เป็นเยื่อหุ้มนอกสุดของเอ็มบริโอ
- รกทำหน้าที่แลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจน น้ำ และอาหารจากแม่สู่ลูก และสร้างฮอร์โมนที่ช่วยในการตั้งครรภ์ เช่น ฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน และฮอร์โมน HCG

>> สายสะดือ (Umbilical Cord)

- ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างรกกับทารกในครรภ์
- ประกอบด้วยหลอดเลือด 3 เส้น ได้แก่
  1) อัมบิลิคัล เวน (Umbilical Vein) 1 เส้น
     → นำเลือดที่มีออกซิเจนสูงจากรกของแม่เข้าสู่หัวใจของเอ็มบริโอ
  2) อัมบิลิคัล อาร์เตอรี (Umbilical Artery) 2 เส้น
     → นำเลือดที่มีออกซิเจนน้อยจากหัวใจของเอ็มบริโอมาแลกเปลี่ยนก๊าซที่รกแม่

>> ถุงน้ำคร่ำ (Amnion)

- ทำหน้าที่ห่อหุ้มป้องกันอันตรายและช่วยให้ทารกเคลื่อนไหวไปมาได้
- ภายในถุงน้ำคร่ำมีของเหลว เรียกว่า 'น้ำคร่ำ' ซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากปัสสาวะของทารกและจะมีมากขึ้นตามอายุครรภ์ มีส่วนประกอบ เช่น โปรตีน แร่ธาตุ และฮอร์โมน เป็นต้น เราสามารถเจาะตรวจน้ำคร่ำเพื่อดูเพศ หรือความผิดปกติอื่นๆ ของทารกในครรภ์ได้



- สัปดาห์ที่ 2 จะเริ่มเข้าสู่ขั้นแกสทรูลา เอ็มบริโอจะสร้างเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ได้แก่

>> เอกโตเดิร์ม (Ectoderm)

- ที่จะเจริญไปเป็นเยื่อบุผิว เล็บ ขน ฟัน สารเคลือบฟัน และระบบประสาท

>> เมโซเดิร์ม (Mesoderm)

- ที่จะเจริญไปเป็นโนโตคอร์ด (Notochord) หนังแท้ ระบบสืบพันธุ์ ระบบขับถ่าย และค้ำจุนร่างกาย

โนโตคอร์ด

พบในเอ็มบริโอของสัตว์มีกระดูกสันหลัง ซึ่งส่วนใหญ่เมื่อโตขึ้นจะกลายเป็นกระดูกสันหลังหรือกระดูกอ่อน เป็นแท่งยืดหยุ่น ยาวไปตามใต้ไขสันหลังแต่อยู่บนทางเดินอาหาร

>> เอนโดเดิร์ม (Endoderm)

- จะเจริญไปเป็นระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร ตับ ตับอ่อน เซลล์สืบพันธุ์ และกระเพาะปัสสาวะ

- สัปดาห์ที่ 3 จะมีขนาดประมาณ 2 – 3 มิลลิเมตร หัวใจเริ่มเต้นดี และเริ่มเห็นเป็นระบบต่างๆ เช่น ระบบประสาท
- สัปดาห์ที่ 4 สามารถมองเห็นแขนขาได้ชัดเจน อวัยวะอื่นเจริญเติบโตขึ้นเรื่อยๆ
- เมื่อครบ 8 สัปดาห์ จะมีอวัยวะครบ และสิ้นสุดระยะเอ็มบริโอ หลังจากนี้จะเรียกว่า ฟีตัส (Fetus)

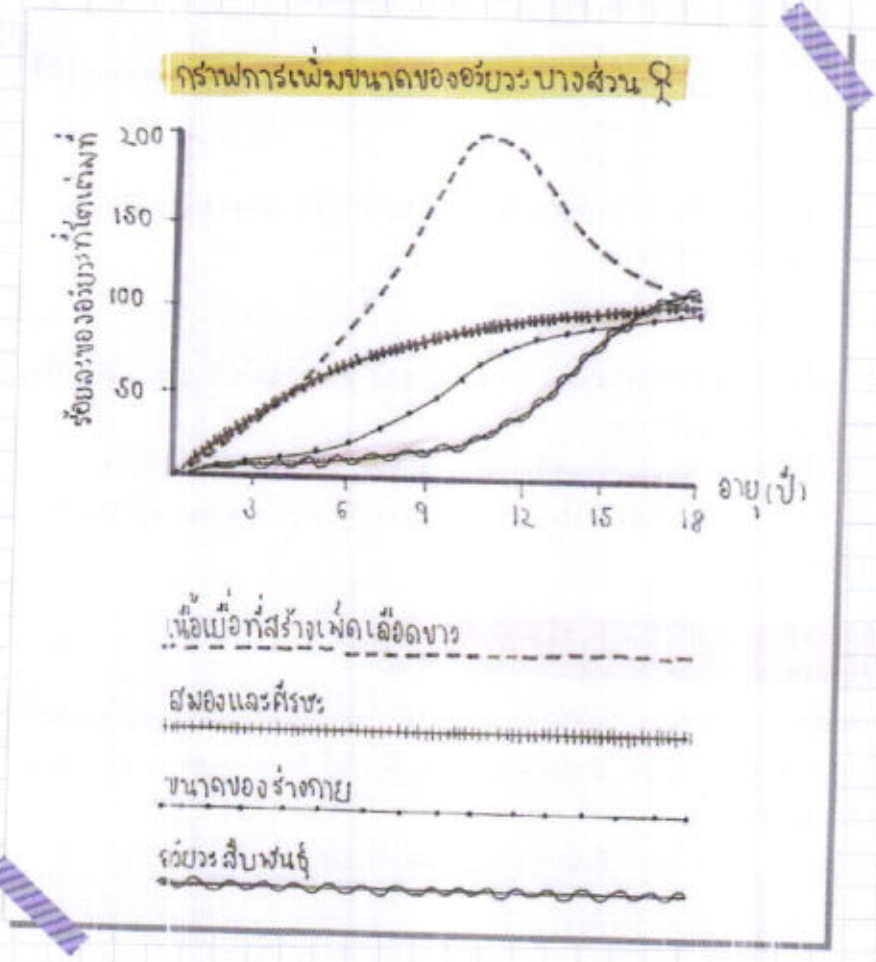
การเจริญเติบโตของมนุษย์ในระยะฟีตัส

- อายุครรภ์ 8 – 9 สัปดาห์ จะสามารถแยกเพศได้ และมองเห็นนิ้วมือนิ้วเท้าได้อย่างชัดเจน
- อายุครรภ์ 4 – 6 เดือน มีการเคลื่อนไหวมากขึ้น รับรู้เสียงจากภายนอก มีการเจริญเติบโตของกระดูก ผม ขน
- อายุครรภ์ 7 – 9 เดือน มีขนาดโตมากขึ้น และมีระบบประสาทที่เจริญมาก

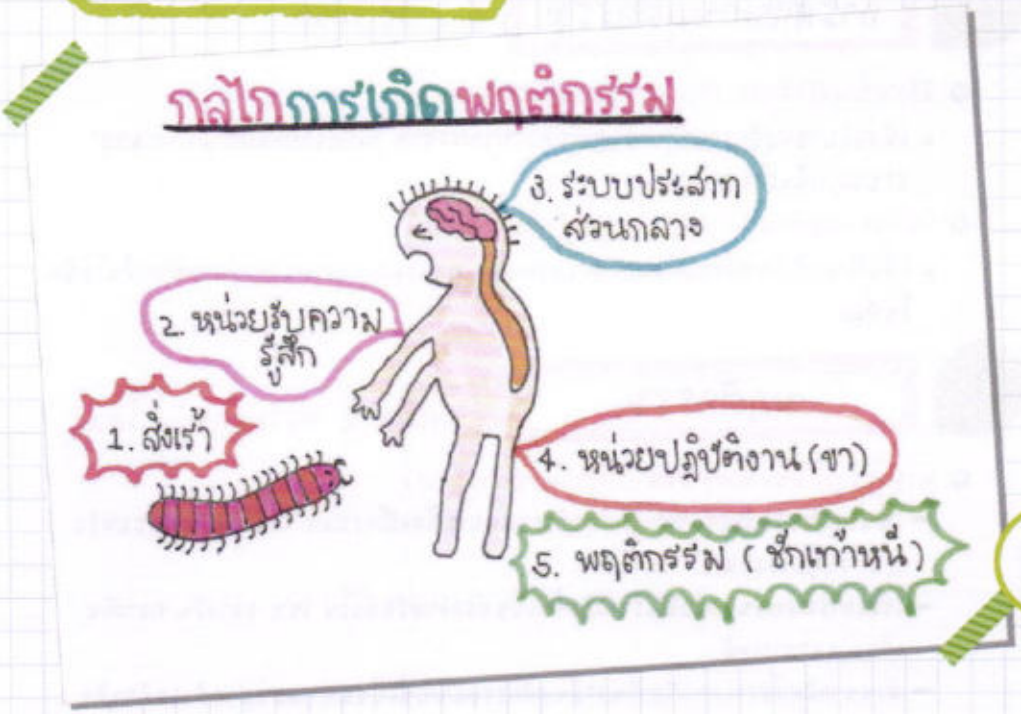
การคลอด

- มนุษย์จะตั้งครรภ์ประมาณ 9 เดือน หรือ 40 สัปดาห์ หรือ 280 วัน
  - โดยวันครบกำหนดคลอดตามปกติ คือ 280 วัน นับจากวันแรกของการมีประจำเดือนครั้งสุดท้ายที่ปกติ
  - แต่ส่วนใหญ่จะคลอดก่อนกำหนดประมาณ 1 – 2 สัปดาห์ มีเพียงร้อยละ 5 เท่านั้นที่คลอดตามวันครบกำหนดพอดี
- ถ้าคลอดก่อนอายุครรภ์ครบ 37 สัปดาห์ ถือเป็นการคลอดก่อนกำหนด

กราฟแสดงการเพิ่มขนาดของอวัยวะและเนื้อเยื่อบางอย่าง
ในร่างกายตั้งแต่แรกเกิดจนถึงอายุ 20 ปี



บทที่ 19
พฤติกรรมของสัตว์



1. กลไกการเกิดพฤติกรรมของสัตว์

- เป็นการตอบสนองต่อสิ่งเร้าทั้งภายในและภายนอกร่างกายจนกลายเป็นพฤติกรรมในที่สุด
- ถือได้ว่าการเกิดพฤติกรรมนี้เป็นการรักษาดุลยภาพแบบหนึ่งของร่างกาย
- โดยสิ่งเร้าที่เข้ามากระตุ้นร่างกาย แบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่
  - สิ่งเร้าภายนอก (External Stimulus)
    - เป็นสิ่งเร้าที่อยู่ภายนอกร่างกาย แต่สิ่งมีชีวิตสามารถใช้ประสาทสัมผัสในการรับรู้ได้ เช่น ความมืด แสงสว่าง ความร้อน ความเย็น สารเคมี และเสียง เป็นต้น
  - สิ่งเร้าภายใน (Internal Stimulus)
    - เป็นสิ่งเร้าที่เกิดขึ้นจากกลไกการทำงานภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต เช่น ความต้องการขั้นพื้นฐานทั้งหลาย ทั้งความหิว ความกระหาย และความต้องการทางเพศ เป็นต้น

- เขียนกลไกการเกิดพฤติกรรมได้ดังนี้
  สิ่งเร้า >> หน่วยรับความรู้สึก >> ระบบประสาทส่วนกลาง >>
  หน่วยปฏิบัติงาน >> เกิดพฤติกรรม

2. การศึกษาพฤติกรรม มี 2 วิธี ได้แก่

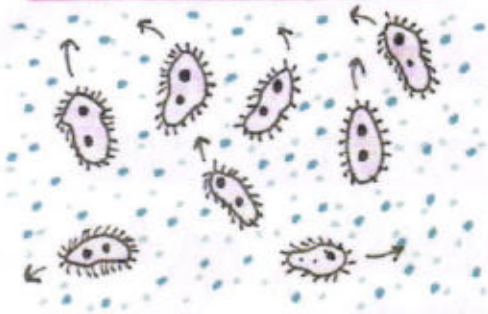
- วิธีการทางสรีรวิทยา (Physiological Approach)
  - เพื่ออธิบายพฤติกรรมที่ถูกควบคุมโดยระบบประสาท ที่เกี่ยวกับกลไกการทำงานของระบบภายในร่างกาย
- วิธีการทางจิตวิทยา (Psychological Approach)
  - เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมที่ค่อยๆ แสดงออกและถูกแสดงออกอย่างเห็นได้ชัดในที่สุด

3. พฤติกรรม แบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

- พฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิด (Innate Behavior)
  - เป็นพฤติกรรมง่ายๆ ที่ทำได้ด้วยตัวเองโดยไม่ต้องมีใครสอน เกิดจากพันธุกรรมหรือการควบคุมของยีน
  - ใช้ในการตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่เกิดขึ้นเป็นประจำหรือทั่วไป เช่น กลางวัน กลางคืน เสียง และสารเคมี
  - ส่วนมากสัตว์ประเภทเดียวกันจะมีพฤติกรรมแบบนี้เป็นแบบแผนตายตัวเหมือนกันหมด (Fix Action Pattern)
  - ตัวอย่างของพฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิด เช่น
    - โอเรียนเตชัน (Orientation)
      >> เป็นการปรับตัวของสิ่งมีชีวิตให้สามารถอยู่ได้อย่างเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น กิ้งก่าเขตหนาวพองตัวเพื่อรับความร้อน ปลาว่ายน้ำตั้งฉากกับแสงอาทิตย์เพื่อหลบศัตรู
      >> พฤติกรรมโอเรียนเตชันแบบอื่น เช่น
      → ไคนีซิส (Kinesis)
      * เป็นการเคลื่อนที่เพื่อตอบสนองสิ่งเร้าแบบมีทิศทางไม่แน่นอน
      * มักพบในสัตว์ที่ยังรับความรู้สึกได้ไม่ดีพอ เช่น สัตว์ชั้นต่ำ และสัตว์เซลล์เดียว เช่น การหนีฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การหนีความร้อนของพารามีเซียม

Kinesis

ทิศทางการเคลื่อนที่
ของพารามีเซียมไม่แน่นอน



→ แทกซิส (Taxis)

* เป็นการเคลื่อนที่เข้าหาหรือหนีออกจากสิ่งเร้าแบบมีทิศทางแน่นอน
* มักพบในสัตว์ที่รับความรู้สึกได้ดีพอสมควรและสามารถแยกแยะสิ่งเร้าได้ เช่น แมลงเม่าบินเข้าหากองไฟ ตัวอ่อนของแมลงวันเคลื่อนที่หนีแสง

Taxis

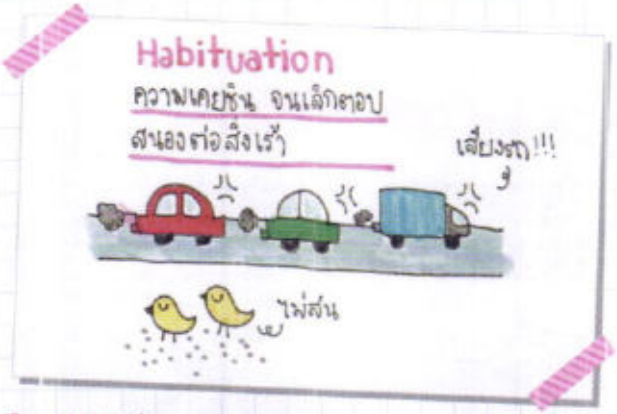
การเคลื่อนที่ของสัตว์
ที่มีทิศทางแน่นอน
เหมือนรถแท็กซี่

แมลงเม่าบินเข้าหากองไฟ

- รีเฟล็กซ์ (Reflex)
  >> เป็นการตอบสนองต่อสิ่งเร้าแบบทันทีและรวดเร็ว โดยเกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบประสาท เช่น การหลับตาหรือกะพริบตาเมื่อมีของเข้ามาใกล้ การกระโดดหนีสิ่งที่ทำให้ตกใจ

- รีเฟล็กซ์ต่อเนื่อง (Chain of Reflex) หรือสัญชาตญาณ (Instinct)
  >> เป็นการตอบสนองต่อสิ่งเร้าด้วยปฏิกิริยารีเฟล็กซ์ที่เป็นผลจากการทำงานของระบบประสาทต่อเนื่องกัน
  >> เมื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าหนึ่งแล้ว ก็จะเป็นการกระตุ้นสิ่งเร้าอื่นๆ ต่อเนื่องให้เกิดการตอบสนองไปเรื่อยๆ เช่น การดูดนมของทารก โดยเริ่มจากความหิว ▶ กระตุ้นให้ทารกร้องไห้ จากนั้น ▶ ปากสัมผัสหัวนม ▶ กระตุ้นให้เกิดการดูดนม ▶ เกิดรีเฟล็กซ์การกลืน ▶ กระตุ้นให้ดูดจนกว่าจะอิ่ม
  >> ตัวอย่างอื่นเช่น การสร้างรังของนก การชักใยของแมงมุม การจำศีล และการอพยพย้ายที่อยู่ของสัตว์

- พฤติกรรมการเรียนรู้ (Learned Behavior หรือ Acquired Behavior)
  - เป็นพฤติกรรมที่ได้มาจากประสบการณ์ที่เคยเกิดขึ้นอย่างน้อยหนึ่งครั้งและทำให้เกิดการเรียนรู้
  - เป็นการตอบสนองที่แตกต่างกันไปอย่างหลากหลาย ขึ้นอยู่กับประสบการณ์และชนิดของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ
  - ตัวอย่างของพฤติกรรมที่ได้มาจากการเรียนรู้ เช่น
    - ความเคยชิน หรือแฮบบิชูเอชัน (Habituation)
      - >> เป็นการที่สิ่งมีชีวิตหยุดตอบสนองต่อสิ่งเร้าเดิมที่เข้ามากระตุ้นซ้ำจนเกิดความเคยชิน
      - >> เกิดขึ้นจากการเรียนรู้แล้วว่าสิ่งเร้านั้นไม่ได้มีอันตรายต่อชีวิต ทำให้ไม่สนใจตอบสนองอีกต่อไป เช่น การตกใจกลัวเสียงทุกอย่างของลูกนกแรกเกิด เมื่อปรับตัวได้ก็จะลดความกลัวลงจนไม่สนใจอีก



- การฝังใจ (Imprinting)
  - >> เป็นการตอบสนองต่อสิ่งเร้าตัวแบบในช่วงระยะเวลา ที่เรียกว่าระยะวิกฤต (Critical Period)
  - >> สิ่งมีชีวิตจะทำตาม เดินตาม หรือเลียนแบบพฤติกรรมของสิ่งเร้าตัวแบบในช่วงที่เกิดการฝังใจ
  - >> เกิดจากพันธุกรรมและการเรียนรู้ เพื่อเพิ่มโอกาสในการมีชีวิตรอดและป้องกันการผสมข้ามสายพันธุ์ เช่น การเดินตามแม่ของลูกเป็ดและลูกไก่ การเรียนรู้การร้องเพลงของลูกนก แต่ลูกนกจะร้องเมื่อถึงเวลาสืบพันธุ์

- การลองผิดลองถูก (Trial and Error)
  - >> เป็นพฤติกรรมที่เกิดจากการลองทำซ้ำๆ จนเกิดการเรียนรู้ว่าแบบไหนทำแล้วดีหรือแบบไหนทำแล้วไม่ดี
  - >> สัตว์ที่มีระบบประสาทเจริญดีจะยิ่งเกิดการเรียนรู้จากการลองผิดลองถูกได้มากขึ้น
  - >> มีการทดลองปล่อยไส้เดือนลงไปในกล่องที่มีทางแยกสองทาง
    - → ทางหนึ่งเดินไปแล้วจะเป็นส่วนที่มืดและชื้น

→ อีกทางหนึ่งจะเป็นส่วนโปร่งแต่จะมีกระแสไฟฟ้าอ่อนๆ ไหลผ่าน

✶ ปรากฏว่าไส้เดือนต้องใช้การฝึกมากกว่า 200 ครั้ง จึงจะเกิดการเรียนรู้ว่าควรเดินไปทางที่มืดและชื้น

- การวางเงื่อนไข (Conditioning)

>> เป็นการนำเอาสิ่งเร้าที่มีเงื่อนไข (Conditioned Stimulus หรือ CS) ไปแทนที่สิ่งเร้าที่ไม่มีเงื่อนไข หรือ สิ่งเร้าเดิม (Unconditioned Stimulus หรือ US)

→ เพื่อกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองในลักษณะเดียวกัน

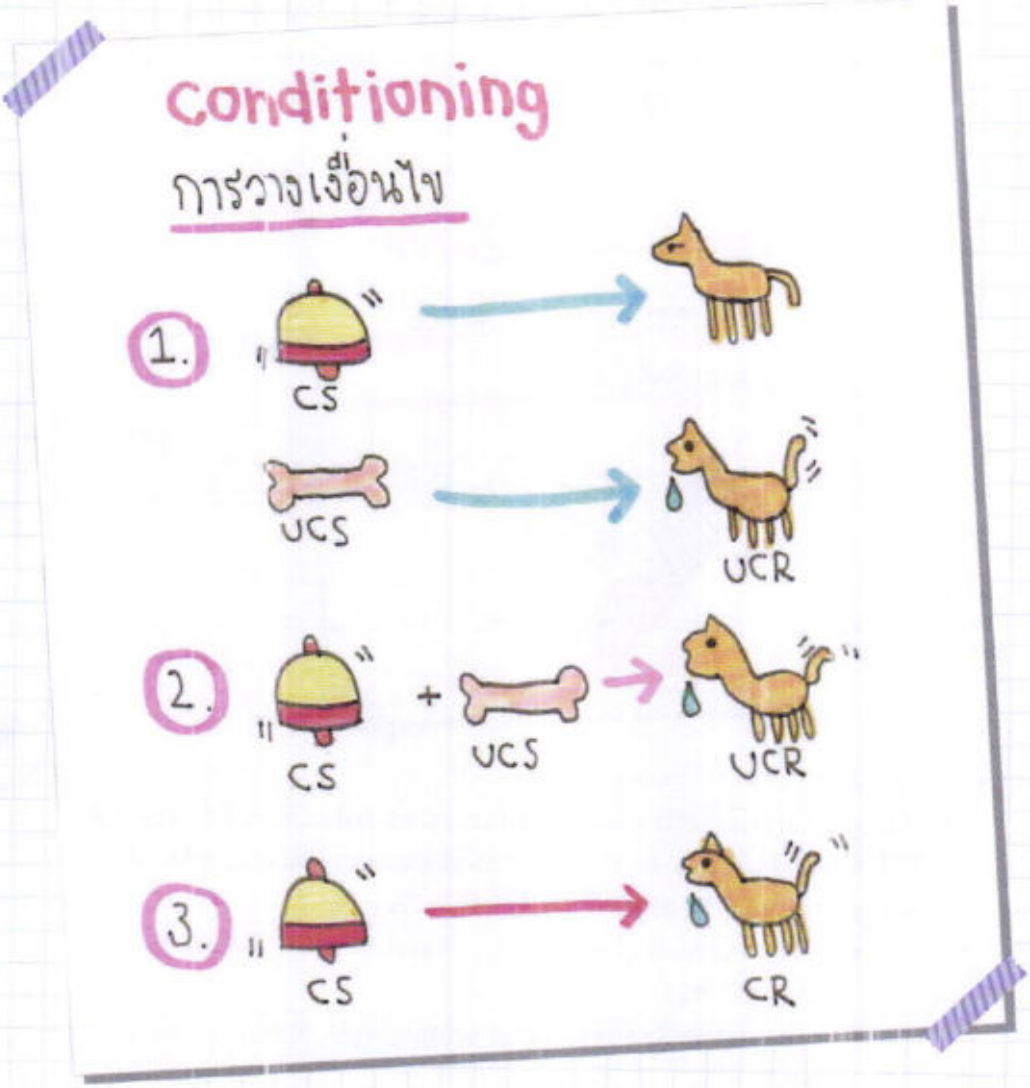
✶ การตอบสนองจากสิ่งเร้าเดิม เรียกว่า Unconditioned Stimulus Response หรือ UCR

✶ การตอบสนองจากสิ่งเร้าใหม่ เรียกว่า Conditioned Stimulus Response หรือ CR

>> เช่น การทดลองของพาฟลอฟ (Pavlov) ที่ทดลองด้วยการติดอุปกรณ์วัดระดับน้ำลายของสุนัข

มี 3 ขั้นตอน

ขั้นที่ 1	สั่นกระดิ่ง (CS)	→ น้ำลายไม่ไหล
	ให้ผงเนื้อ (UCS)	→ น้ำลายไหล (UCR)
ขั้นที่ 2	สั่นกระดิ่ง (CS) + ให้ผงเนื้อ (UCS)	→ น้ำลายไหล (UCR)
	ทำขั้นที่ 2 ซ้ำๆ หลายๆ ครั้ง	
ขั้นที่ 3	สั่นกระดิ่ง (CS)	→ น้ำลายไหล (CR)



- การใช้เหตุผล (Reasoning)
  - >> เป็นพฤติกรรมขั้นสูงที่ใช้สติปัญญาเพื่อแก้ปัญหาโดยอาศัยประสบการณ์เดิมมาช่วย
  - >> เกิดในสัตว์ที่สมองส่วนซีรีบรัมมีความเจริญ เพราะเป็นสมองส่วนที่ช่วยในเรื่องความจำและการเรียนรู้ เช่น การทดลองด้วยการห้อยกล้วยไว้บนเพดาน แต่ชิมแปนซีสามารถนำลังไม้มาต่อกันเพื่อหยิบกล้วยได้
  - >> รวมไปถึงการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ส่วนมากเกิดจากการใช้เหตุผลเช่นกัน

Reasoning

ใช้สติปัญญา + ประสบการณ์
ในการแก้ปัญหา

ลิงเอากล่อง
มาต่อเพื่อหยิบ
กล้วย

4. การสื่อสารของสัตว์

การสื่อสารด้วยการใช้เสียง (Sound Communication)

- เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด แม้สัตว์จะไม่มีภาษาพูดเช่นเดียวกับมนุษย์ แต่ก็สามารถใช้เสียงในการสื่อสารได้เช่นกัน
- การส่งเสียงมีหลายจุดประสงค์ เช่น
  - เสียงเรียกติดต่อ (Contact Call)
    - เป็นการส่งเสียงเรียกเพื่อให้สัตว์ชนิดเดียวกันมารวมกลุ่มกัน
  - เสียงเรียกคู่ (Mating Calls)
    - เป็นการส่งเสียงเพื่อเรียกหาสัตว์ชนิดเดียวกันระหว่างตัวผู้และตัวเมีย เพื่อให้เข้ามาผสมพันธุ์ เช่น การขยับปีกของยุงตัวเมีย การสีปีกของจิ้งหรีดตัวผู้เพื่อเรียกความสนใจ
  - เสียงเรียกเตือนภัย (Warning Call)
    - เป็นการส่งเสียงเพื่อเตือนให้สัตว์ตัวอื่นๆ รู้เมื่อมีภัยเกิดขึ้น
  - เสียงกำหนดสถานที่ของวัตถุ (Echolocation)
    - เช่น การปล่อยเสียงความถี่สูงเพื่อนำทางหรือการหาอาหารของค้างคาวและโลมา

การสื่อสารด้วยการใช้สารเคมี (Chemical Communication)

- เป็นการสื่อสารด้วยการใช้สารเคมี หรือ ฟีโรโมน (Pheromone)
- ฟีโรโมนมีหน้าที่สำคัญ เช่น ดึงดูดเพศตรงข้าม เตือนภัย ปลุกระดม นำทางหรือควบคุมสัตว์ตัวอื่นๆ
- สัตว์สามารถรับฟีโรโมนได้ 3 ทาง ได้แก่ ทางการกิน การรับสัมผัส และการดมกลิ่น
- ฟีโรโมนมี 2 ประเภท ได้แก่
  - ฟีโรโมนที่ทำให้เกิดพฤติกรรมทันที (Releaser Pheromone)
    - เช่น ผีเสื้อไหมตัวเมียปล่อยฟีโรโมนสำหรับดึงดูดตัวผู้มาผสมพันธุ์
  - ฟีโรโมนที่เหนี่ยวนำให้เกิดพฤติกรรมแต่ยังไม่เกิดพฤติกรรมทันที (Primer Pheromone)
    - เช่น หนูตัวผู้ปล่อยฟีโรโมนไปเหนี่ยวนำหนูตัวเมียให้ติดสัดและเข้าสู่ช่วงเวลาผสมพันธุ์

การสื่อสารด้วยการใช้ภาพหรือท่าทาง (Visual Communication)

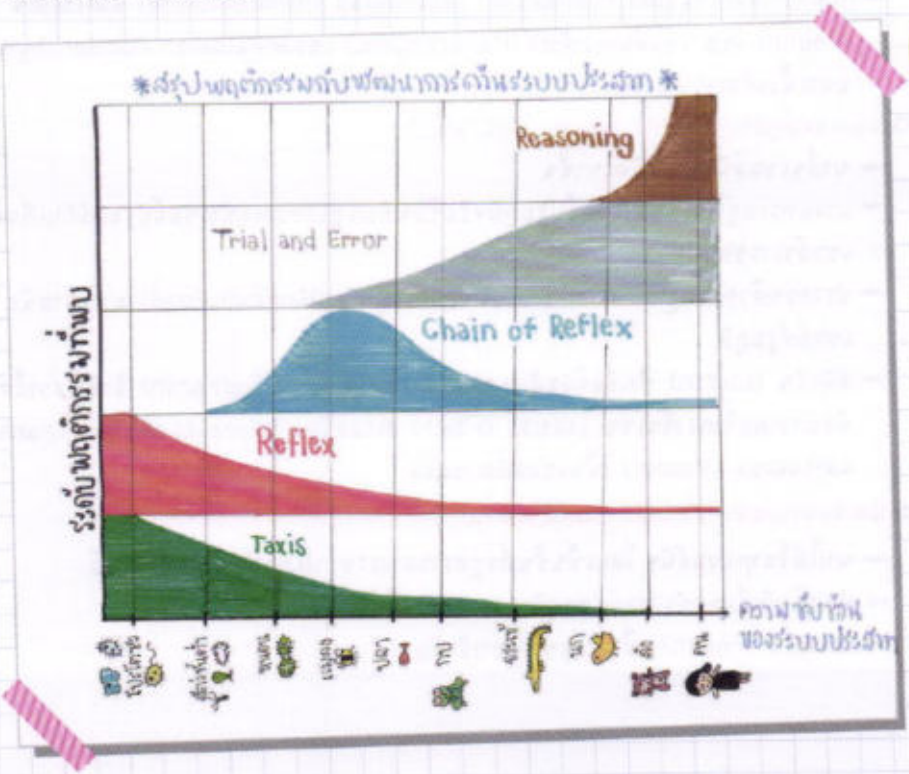
- เป็นการสื่อสารที่ใช้กันทั้งในสัตว์และมนุษย์ อาจเกิดจากการเรียนรู้หรือติดตัวมาตั้งแต่กำเนิด
- เป็นการแสดงออกแบบง่ายๆ หรือสัมพันธ์กันหลายขั้นตอนก็ได้ และจะได้ผลดีเมื่อมีการสื่อสารในระยะที่ไม่ไกลมาก เช่น การรำแพนหางของนกยูง การกระดิกหางของสุนัข การแยกเขี้ยวขู่ของแมว และการเปลี่ยนสีของปลากัดขณะต่อสู้

การสื่อสารด้วยการสัมผัส (Tactile Communication)

- เป็นการใช้อวัยวะสัมผัสกัน เพื่อให้เกิดพฤติกรรมโต้ตอบกันระหว่างสัตว์แต่ละตัว
- การสื่อสารด้วยการสัมผัส เป็นสื่อในการถ่ายทอดความรักระหว่างแม่และลูกอ่อนอย่างหนึ่ง โดยเชื่อว่าจะทำให้ลูกมีพัฒนาการที่ดี เช่น จิมแปนซีชี้นิ้วมือให้ตัวที่เป็นจ่าฝูงจับเพื่อเป็นการขอมรับ หรือสุนัขเลียปากสุนัขตัวอื่นเพื่อแสดงความเป็นมิตร

5. พฤติกรรมกับพัฒนาการทางด้านระบบประสาท

- ยิ่งสิ่งมีชีวิตมีความเจริญและซับซ้อนของระบบประสาทมากเท่าไร ก็จะยิ่งแสดงพฤติกรรมซับซ้อนได้มากขึ้นเท่านั้น



บทที่ 20
โครงสร้างและการสืบพันธุ์ของพืช

1. เนื้อเยื่อพืช

เป็นกลุ่มเซลล์ที่มีลักษณะคล้ายกัน มาอยู่รวมกันและร่วมกันทำงาน

เซลล์พืชมีผนังเซลล์ (Cell Wall) เป็นลักษณะเด่น โดยแบ่งเป็น

- ผนังเซลล์ปฐมภูมิ (Primary Cell Wall)
  - พบในเซลล์พืชทุกชนิด
  - เป็นแผ่นบางอยู่ติดกับมิดเดิลลาเมลลา (Middle Lamella)
  - ประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และเพกติน (Pectin) เช่น เซลล์พาเรงคิมา (Parenchyma) เซลล์คอลเลงคิมา (Co lenchyma) และเนื้อเยื่อเจริญต่างๆ
- ผนังเซลล์ทุติยภูมิ (Secondary Cell Wall)
  - พบในเซลล์พืชบางชนิดเท่านั้น
  - อาจแทรกอยู่ข้างในผนังเซลล์ปฐมภูมิหรือซ้อนทับอยู่ระหว่างผนังเซลล์ปฐมภูมิกับเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์พืช
  - ประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) มากกว่าผนังเซลล์ปฐมภูมิ
  - มีลิกนิน (Lignin) ซึ่งเมื่อย้อมสีแบบแกรมจะติดสีแดง (สี Safranin) ลิกนินช่วยให้เซลล์พืชมีความแข็งแรงขึ้นเช่น ไฟเบอร์ (Fiber) สเกลอรีด (Sclereid) เทรคีด (Tracheid) และเวสเซล (Vessel) เป็นเซลล์ที่ตายแล้ว
- มิดเดิลลาเมลลา (Middle Lamella)
  - พบได้ในทุกเซลล์พืช โดยเป็นชั้นที่อยู่ตรงกลางระหว่างเซลล์หนึ่งกับอีกเซลล์
  - ทำหน้าที่เชื่อมผนังเซลล์ปฐมภูมิของสองเซลล์ให้ติดกัน
  - มีเพกติน (Pectin) เป็นส่วนประกอบสำคัญ

แบ่งตามการเจริญของเนื้อเยื่อ เป็น 2 ประเภท ได้แก่

- เนื้อเยื่อเจริญ (Meristematic Tissue)
  - เป็นเนื้อเยื่อที่สามารถแบ่งเซลล์ได้ตลอด และไม่ผ่านการเปลี่ยนสภาพ
  - มีเซลล์เจริญ (Meristematic Cell)
    - เป็นเซลล์ที่มีผนังบาง นิวเคลียสใหญ่ เรียงชิดกันอยู่
    - มีการแบ่งเซลล์แบบไมโตซิสได้อย่างรวดเร็ว
  - เนื้อเยื่อเจริญแบ่งตามตำแหน่งที่อยู่ได้เป็น 3 ชนิด คือ

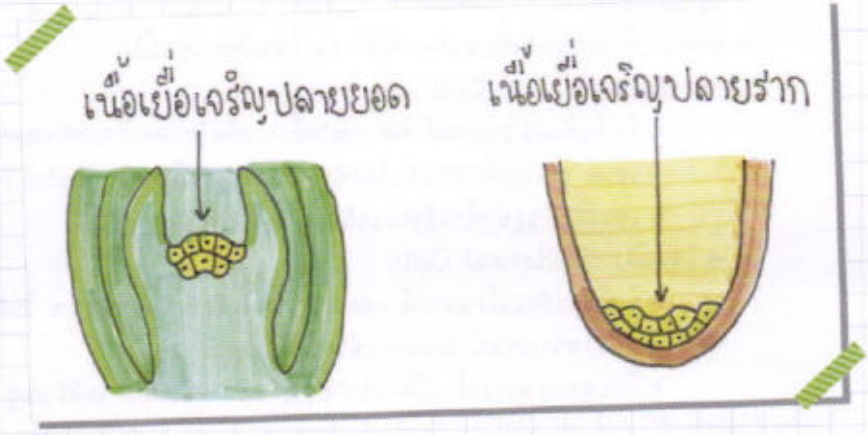
1) เนื้อเยื่อเจริญส่วนปลาย (Apical Meristem)

>> เป็นเนื้อเยื่อที่ทำให้เกิดการเจริญเติบโตขั้นแรก (Primary Growth)

>> เป็นส่วนที่ทำให้ลำต้นและรากยาวขึ้น รวมถึงสร้างใบและกิ่ง

>> ถ้าพบที่ปลายราก เรียกว่า เนื้อเยื่อเจริญส่วนปลายราก (Apical Root Meristem)

>> ถ้าพบที่ปลายยอด เรียกว่า เนื้อเยื่อเจริญส่วนปลายยอด (Apical Shoot Meristem)



2) เนื้อเยื่อเจริญเหนือข้อ (Intercalary Meristem)

>> เป็นเนื้อเยื่อที่ทำให้เกิดการเจริญเติบโตขั้นแรก (Primary Growth) เช่นกัน

>> พบที่บริเวณเหนือข้อล่างและโคนปล้องบนของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวทั่วไป เช่น ปล้องของต้นอ้อย

→ เป็นส่วนที่ทำให้ปล้องยาวขึ้น

3) เนื้อเยื่อเจริญด้านข้าง (Lateral Meristem)

>> เป็นเนื้อเยื่อที่ทำให้เกิดการเจริญเติบโตขั้นที่สอง (Secondary Growth)

>> เป็นส่วนที่ทำให้พืชขยายขนาดออกทางด้านข้าง ทำให้รากและลำต้นขยายใหญ่ขึ้น

>> เรียกอีกชื่อว่า แคมเบียม (Cambium) แบ่งเป็น

→ วาสคิวลาร์แคมเบียม (Vascular Cambium)

- อยู่ระหว่างท่อลำเลียงน้ำและท่อลำเลียงอาหาร
- แบ่งเซลล์เพิ่มจะได้เนื้อเยื่อท่อลำเลียง (Vascular Tissue)

→ คอร์กแคมเบียม (Cork Cambium)

- อยู่ระหว่างเนื้อเยื่อผิว (Epidermis)
- แบ่งเซลล์เพิ่มจะได้เนื้อเยื่อคอร์ก (Cork) และอื่นๆ

○ เนื้อเยื่อถาวร (Permanent Tissue)

– เป็นเนื้อเยื่อที่เปลี่ยนแปลงมาจากเนื้อเยื่อเจริญ เป็นเซลล์ซึ่งมีรูปร่างคงที่ปกติ จะแบ่งเซลล์อีกไม่ได้

– หน้าที่หลักของเนื้อเยื่อถาวร ได้แก่

1) เอพิเดอร์มิส (Epidermis) หรือ เนื้อเยื่อผิว

>> เป็นเนื้อเยื่อชั้นนอกสุดของพืชที่เจริญเติบโตในขั้นแรก

>> ทำหน้าที่ป้องกันเนื้อเยื่อที่อยู่ด้านใน ช่วยดูดซึมน้ำและแร่ธาตุ และเพิ่มความแข็งแรง

>> ประกอบด้วยเซลล์สำคัญหลายเซลล์ เช่น เซลล์คุม เซลล์ผิว

→ เซลล์คุม (Guard Cell)

* ข้างในมีคลอโรพลาสต์ มีลักษณะคล้ายเมล็ดถั่วแดงประกบกันตรงกลางเซลล์ บริเวณที่ประกบกันไม่สนิทเรียกว่า รูปากใบ (Stomatal Pore)
* เซลล์คุมกับรูปากใบเรียกรวมกันว่า ปากใบ (Stoma)

→ เซลล์ผิว (Epidermal Cell)

* ข้างในไม่มีคลอโรพลาสต์ เซลล์เรียงแถวเดียวเบียดกันแน่น ไม่มีช่องว่างระหว่างเซลล์ มีเฉพาะผนังเซลล์ปฐมภูมิ
* ด้านนอกหนากว่าด้านในเพราะมีสารคิวทิน (Cutin) เคลือบอยู่

2) พาเรงคิมา (Parenchyma)

>> มีผนังเซลล์บางสม่ำเสมอ เป็นเซลล์รูปทรงกระบอกหลายเหลี่ยมค่อนข้างกลม หรือรี

>> ประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมา (Parenchyma Cell) เป็นเซลล์ที่โตเต็มที่และยังมีชีวิต

>> มีการเรียงตัวของเซลล์ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์ (Intercellular Space)

>> เซลล์พาเรงคิมาทำหน้าที่

→ ช่วยในการหายใจ และช่วยในการลำเลียงสาร

→ จะกลายเป็นเนื้อเยื่อเจริญได้เมื่อถูกกระตุ้น เช่น ตอนที่เป็นแผล

→ ถ้ามีคลอโรพลาสต์จะสังเคราะห์ด้วยแสงได้ เรียกว่า คลอเรงคิมา (Chlorenchyma)

→ ถ้าสะสมอาหารและน้ำ เรียกว่า รีเสิร์ฟพาเรงคิมา (Reserved Parenchyma)

→ ถ้าเป็นต่อมจะสร้างสารได้ เช่น น้ำมันหอมระเหย

3) คอลเลงคิมา (Collenchyma)

>> ลักษณะเซลล์เป็นรูปหลายเหลี่ยม ค่อนข้างยาว

>> ประกอบด้วยเซลล์คอลเลงคิมา (Collenchyma Cell) เป็นเซลล์โตเต็มที่และยังมีชีวิตเช่นกัน

>> ผนังเซลล์หนาไม่สม่ำเสมอ ส่วนที่หนาจะอยู่ตามมุมของเซลล์ เพราะมีสารพวกเพกตินสะสม

>> มักพบที่เอพิเดอร์มิสที่ก้านใบ เส้นกลางใบ และลำต้นของพืชล้มลุกบางชนิด แต่ไม่พบในราก

>> คอลเลงคิมาทำหน้าที่

→ ช่วยป้องกันแรงเสียดทาน

→ เสริมความแข็งแรงให้กับพืชต้นอ่อน

4) สเกลอเรงคิมา (Sclerenchyma)

>> เป็นเซลล์ที่ประกอบด้วยสารจำพวกลิกนิน ทำให้ผนังเซลล์หนาและแข็งแรง

>> ทำหน้าที่ช่วยพยุงและให้ความแข็งแรงแก่ส่วนต่างๆ ของต้นพืช

>> แบ่งเป็น 2 ชนิดตามรูปร่าง ได้แก่

→ ไฟเบอร์ (Fiber) หรือ เซลล์เส้นใย

* มีรูปร่างเรียวยาว หัวท้ายแหลม แข็งและเหนียว อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม

* พบในกลุ่มท่อลำเลียงน้ำและอาหาร พบในพืชให้เส้นใยต่างๆ เช่น ป่าน ปอ

→ สเกลอรีด (Sclereid)

* ขนาดไม่ยาวมาก อาจมีหลายเหลี่ยม หรือเป็นรูปดาว แข็งและกรอบ

* พบกระจายอยู่ชั้นเปลือกนอกของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ เนื้อผลไม้ที่มีเนื้อสากบางชนิด เช่น สาลี่ และฝรั่ง

5) ไซเล็ม (Xylem) หรือ ท่อลำเลียงน้ำ

>> เป็นเนื้อเยื่อซึ่งทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและแร่ธาตุจากรากขึ้นสู่ยอดและสู่ส่วนต่างๆ

>> มีผนังเซลล์ปฐมภูมิและมีผนังเซลล์ทุติยภูมิเป็นบางส่วน จึงทำให้เกิดลวดลายบนเซลล์

>> ประกอบด้วยเซลล์ซึ่งทำหน้าที่ลำเลียงน้ำ 2 ชนิด ได้แก่

→ เทรคีด (Tracheid) : มีรูปร่างเรียวยาวปลายแหลม มีรูพรุนด้านข้าง เป็นเซลล์ที่ตายแล้ว

→ เวสเซลเมมเบอร์ (Vessel Member) : มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกสั้น เป็นเซลล์ตายแล้ว หัวท้ายของเซลล์มีช่องทะลุกัน เมื่อมาเรียงต่อกันจะได้เป็นท่อน้ำ เรียกว่า เวสเซล (Vessel)

>> นอกจากนี้ยังมีเซลล์อื่นๆ เช่น ไฟเบอร์ที่เสริมความแข็งแรง เซลล์พาเรงคิมาช่วยสะสมอาหาร

6) โฟลเอ็ม (Phloem) หรือ ท่อลำเลียงอาหาร

>> เป็นเนื้อเยื่อซึ่งทำหน้าที่ลำเลียงอาหารที่สังเคราะห์จากใบไปสู่ส่วนต่างๆ

>> ประกอบด้วยเซลล์ซึ่งทำหน้าที่ลำเลียงอาหาร ได้แก่

→ ซีฟทิวบ์เมมเบอร์ (Sieve Tube Member) หรือ เซลล์ท่อลำเลียงอาหาร

* มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกซึ่งถูกควบคุมโดยเซลล์คอมพาเนียน
* เป็นเซลล์มีชีวิตแต่เมื่อเจริญเต็มที่นิวเคลียสจะหายไป
* หัวและท้ายเซลล์จะมีแผ่นเหมือนตะแกรง เรียกว่า ซีฟเพลต (Sieve Plate) โดยอาหารจะลำเลียงผ่านรูของซีฟเพลตนี้ เมื่อมาเรียงต่อกันจะได้เป็นท่อ เรียกว่า ซีฟทิวบ์ (Sieve Tube)

→ เซลล์คอมพาเนียน (Companion Cell) หรือ เซลล์ประกบ

* เป็นเซลล์ที่มีชีวิต มีนิวเคลียสตลอดชีวิต
* เป็นพี่เลี้ยงของซีฟทิวบ์เมมเบอร์ คอยช่วยเหลือสั่งการ และอยู่ติดกันเสมอ เพราะว่าสร้างมาจากเซลล์เจริญเดียวกัน

>> นอกจากนี้ยังมีเซลล์อื่นๆ เช่น ไฟเบอร์ที่เสริมความแข็งแรง เซลล์พาเรงคิมาช่วยสะสมอาหาร

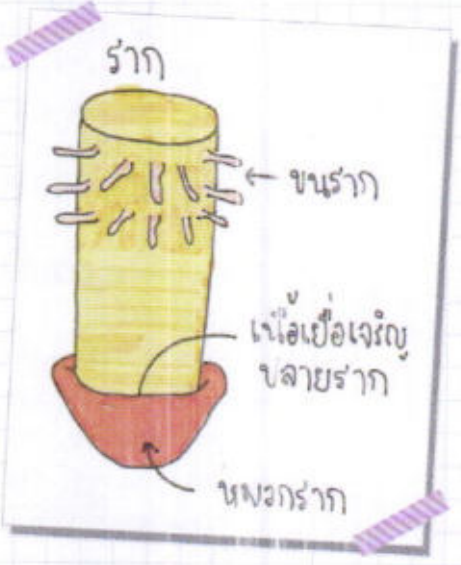
2. อวัยวะของพืช

ราก (Root)

- เป็นส่วนของพืชที่มักเจริญเติบโตตามแรงโน้มถ่วงของโลก
- การเจริญเติบโตขั้นปฐมภูมิ จะพบโครงสร้างของปลายรากแบ่งเป็น 4 ส่วน ได้แก่

1) หมวกราก (Root Cap)

- ประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมาหลายชั้นเรียงตัวอยู่แบบไม่ชิดกันมาก
- เซลล์ที่มีอายุสั้น จะมีการหลั่งเมือกลื่น (Mucilage) ให้รากแทงลงดินได้ง่ายและไม่ฉีกขาด
- ทำหน้าที่ป้องกันเนื้อเยื่อเจริญบริเวณปลายราก (Apical Root Meristem)



2) บริเวณที่มีการแบ่งเซลล์ (Region of Cell Division)

>> ประกอบด้วยเซลล์ของเนื้อเยื่อเจริญบริเวณปลายราก (Apical Root Meristem)

>> เป็นเซลล์ที่มีขนาดเล็กและผนังเซลล์บาง

>> ส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นเซลล์ในหมวกรากที่อยู่ด้านล่าง

>> แต่เซลล์ส่วนใหญ่จะเปลี่ยนไปเป็นเนื้อเยื่อถาวรต่างๆ ที่อยู่ด้านบน

3) บริเวณที่มีการยืดตามยาวของเซลล์ (Region of Cell Elongation)

>> เซลล์มีรูปร่างยาว โดยบางเซลล์อาจมีการแบ่งเซลล์เพิ่ม

>> มีหน้าที่ทำให้รากมีความยาวเพิ่มขึ้น ด้วยการขยายตัวของเซลล์ให้ยืดยาวออกไป

4) บริเวณที่เซลล์มีการเปลี่ยนแปลงไปทำหน้าที่เฉพาะ (Region of Cell Differentiation and Maturation)

>> เป็นเซลล์ที่จะมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นเนื้อเยื่อถาวรต่างๆ ในโครงสร้างราก

>> ภายในมีเซลล์ไซเล็มและเซลล์โฟลเอ็มซึ่งทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและสารอาหารอยู่

>> จะพบเซลล์ขนราก (Root Hair Cell) สำหรับเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดน้ำและสารอาหารที่บริเวณนี้เท่านั้น

○ โครงสร้างของรากตามภาคตัดตามขวาง จะเห็นเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1) เอพิเดอร์มิส (Epidermis)

- เป็นเซลล์ที่อยู่นอกสุด ผนังบาง ประกอบด้วยเซลล์ผิวและเซลล์ขนรากเรียงชิดกันเป็นแถวเดียว

2) คอร์เทกซ์ (Cortex)

- อยู่ระหว่างชั้นเอพิเดอร์มิสกับชั้นสตีล ประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อพาเรงคิมา
- ชั้นในสุดของคอร์เทกซ์จะมีเซลล์ที่เรียงเป็นแถวเดียว เรียกว่า ชั้นเอนโดเดอร์มิส (Endodermis)

>> เซลล์ในชั้นนี้เป็นเซลล์พาเรงคิมาที่เคลือบให้หนาขึ้นด้วยสารซูเบอริน และลิกนิน จนเป็นแถบหนา เรียกว่า แถบแคสพาเรียนสตริป (Casparian Strip)

3) สตีล (Stele) เป็นชั้นที่แคบกว่าซึ่งอยู่ต่อจากชั้นเอนโดเดอร์มิสเข้าไป ประกอบด้วย

- เพอริไซเคิล (Pericycle)

>> เป็นชั้นนอกสุดของสตีล ประกอบไปด้วยเซลล์พาเรงคิมาล้อมอยู่เป็นวง 1 – 2 ชั้น

>> เป็นส่วนที่จะแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสออกไปทางด้านข้างเพื่อกลายเป็นรากแขนง

>> ในพืชบางชนิดที่มีการเติบโตขั้นทุติยภูมิ ส่วนนี้จะเปลี่ยนไปเป็นคอร์กแคมเบียมได้

- กลุ่มท่อลำเลียง (Vascular Bundle)

>> ประกอบด้วยไซเล็มปฐมภูมิ (Primary Xylem) และโฟลเอ็มปฐมภูมิ (Primary Phloem)

>> ไซเล็มจะเรียงตัวเป็นแฉกอยู่ตรงกลางของราก ส่วนโฟลเอ็มจะอยู่ระหว่างแฉกพวกนั้น

→ รากพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ไซเล็มจะเรียงเป็นแฉกมากกว่า 6 แฉก

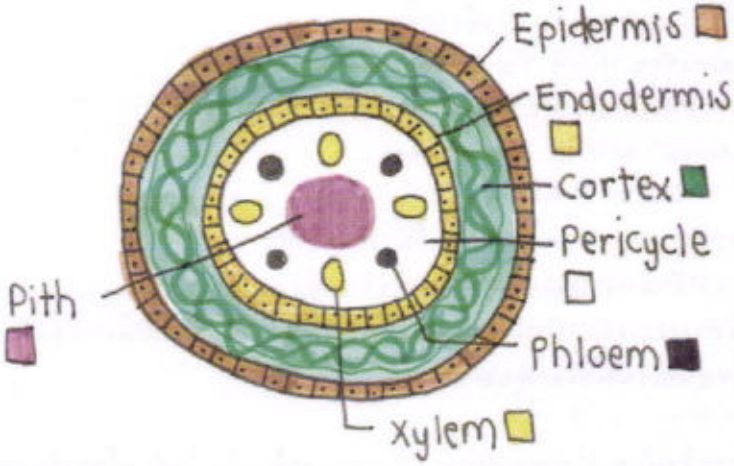
→ รากพืชใบเลี้ยงคู่ ไซเล็มเรียงเป็นแฉกจำนวนน้อยกว่า คือมีประมาณ 3 - 4 แฉก

• พิธ (Pith) หรือ ไส้ไม้

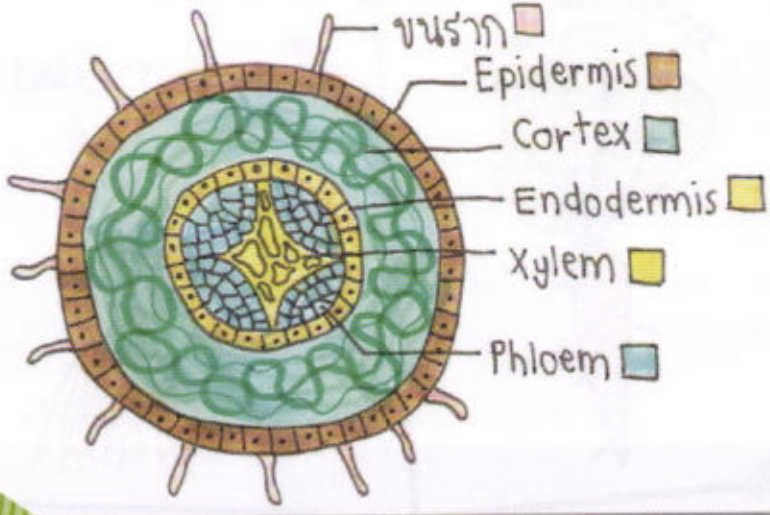
>> อยู่ตรงกลางของรากที่ประกอบด้วยพาเรงคิมา มักพบและเห็นได้ชัดในรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

>> ไม่พบในรากพืชใบเลี้ยงคู่ โดยตรงกลางรากจะเป็นท่อลำเลียงน้ำหรือไซเล็มแทน

รากพืชใบเลี้ยงเดี่ยว



รากพืชใบเลี้ยงคู่



- การเจริญเติบโตขึ้นทุติยภูมิที่เกิดขึ้นเฉพาะรากพืชใบเลี้ยงคู่เท่านั้น จะทำให้เกิดโครงสร้างของปลายรากได้ ดังนี้
  1) วาสคิวลาร์แคมเบียม (Vascular Cambium) จะแบ่งตัวเกิดเป็น
     - ไซเล็มทุติยภูมิ (Secondary Xylem)
     - โฟลเอ็มทุติยภูมิ (Secondary Phloem)
  2) เพอริไซเคิล (Pericycle) จะเปลี่ยนเป็น
     - คอร์กแคมเบียม (Cork Cambium)
       → ที่จะสร้างเนื้อเยื่อคอร์ก (Cork) ขึ้นมาแทนเนื้อเยื่อผิวเดิม
- ระบบราก (Root) แบ่งเป็น 2 ระบบ ได้แก่
  1) รากแก้ว (Tap Root) หรือรากปฐมภูมิ (Primary Root)
     - เป็นรากที่เกิดมาจากรากแรกเกิดของเอ็มบริโอโดยตรง
     - โคนรากจะมีขนาดใหญ่และปลายเรียวเป็นรากหลัก
     - ด้านข้างของรากหลักจะมีการแตกแขนงออกไปบ้าง เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึม
     - ส่วนใหญ่พบในพืชใบเลี้ยงคู่และพืชเมล็ดเปลือย
  2) รากฝอย (Fibrous Root)
     - เป็นรากเส้นเล็กๆ จำนวนมากที่งอกออกมาจากรอบโคนต้น ไม่มีรากไหนเป็นรากหลัก
     - ที่ปลายรากฝอยจะมีขนอ่อนอยู่ เช่น ในรากของข้าวโพด
     - ส่วนใหญ่พบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

- หน้าที่ของราก
  - หลักๆ คือ ดูดซึมและลำเลียงน้ำหรือสารอาหารจากในดินไปเลี้ยงส่วนต่างๆ เป็นที่ยึดและค้ำจุนให้ต้นพืช
  - นอกจากนี้ยังมีรากที่ทำหน้าที่พิเศษอื่นๆ เช่น

>> รากค้ำ (Prop Root)

→ พบในพืชที่พืชซึ่งเจริญเติบโตในบริเวณที่มีน้ำท่วมขังอยู่ตลอด เพื่อช่วยในการพยุงลำต้น เช่น รากของต้นโกงกาง และต้นลำเจียก

>> รากหายใจ (Breathing Root)

→ เป็นรากค้ำจุนชนิดหนึ่ง พบในพืชซึ่งเจริญเติบโตในบริเวณที่มีน้ำท่วมขังอยู่ตลอดเช่นกัน

→ แต่มีลักษณะเป็นรากแขนง ปลายโผล่พ้นน้ำขึ้นมาช่วยในการหายใจและดักตะกอนต่างๆ เช่น รากของต้นแสม และต้นลำพู

>> รากสังเคราะห์แสง (Aerial Root)

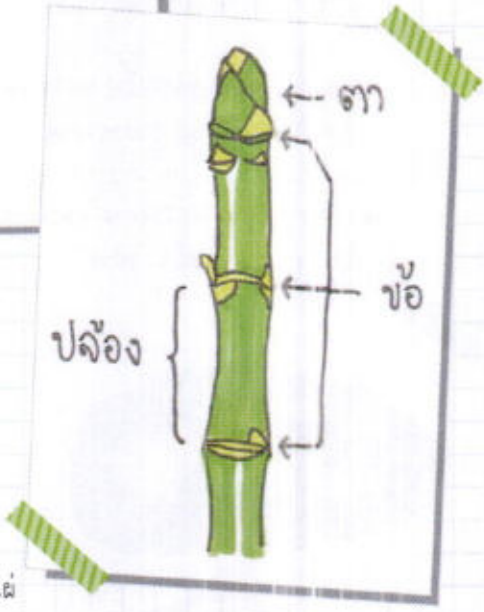
→ เป็นรากค้ำจุนชนิดหนึ่งที่อยู่บนบกแต่อยู่ในอากาศไม่อยู่ในดิน ที่รากมีคลอโรฟิลล์ เช่น รากของต้นไทร และกล้วยไม้

>> รากสะสมอาหาร (Storage Root)

→ มีขนาดใหญ่กว่ารากทั่วไป และทำหน้าที่ในการสะสมอาหาร เช่น รากของแครอต หัวไชเท้า มันเทศ และกระชาย

>> รากกาฝาก (Parasitic root)

→ เป็นรากที่สามารถยึดเกาะ และเจาะลงไปในเนื้อของต้นไม้ที่เป็นผู้ถูกอาศัย (Host) ได้ เช่น รากของต้นกาฝาก



ลำต้น (Stem)

- เป็นส่วนที่เจริญตอขึ้นมาจากราก มีส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่

1) ข้อ (Node)
   - เป็นส่วนที่มีใบ กิ่งก้าน หรือตายื่นออกมา
   - จะสังเกตได้ชัดในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น ไผ่

2) ปล้อง (Internode)
   - เป็นส่วนที่อยู่ระหว่างข้อแต่ละข้อ
   - จะเป็นปล้องสั้นๆ ในพืชใบเลี้ยงคู่ทำให้มองเห็นไม่ชัดเท่าในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

3) ตา (Bud)
   - สำคัญมาก เพราะเป็นส่วนที่จะเจริญไปเป็นใบ กิ่งก้าน และดอกต่อไป

- โครงสร้างบริเวณปลายยอดของลำต้น ประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่

1) เนื้อเยื่อเจริญส่วนปลายยอด (Apicle Meristem)
   - เป็นเนื้อเยื่อที่อยู่ตรงปลายสุดของลำต้น
   - จะพัฒนาไปเป็นใบ ลำต้น และตาตามซอกที่จะเป็นกิ่งต่อไป

2) ใบเริ่มเกิด (Leaf Primordium)
   - อยู่ข้างปลายยอดบริเวณที่เป็นจอบโค้ง จะพัฒนาไปเป็นใบอ่อน
   - ตรงกลางใบมีเซลล์ที่จะเจริญเป็นเนื้อเยื่อท่อลำเลียงจากลำต้นไปที่ใบ

3) ใบอ่อน (Young Leaf)
   - เป็นใบที่ยังไม่แผ่การออกเต็มที่ รวมถึงความหนาและขนาด
   - ตรงบริเวณซอกของใบอ่อนจะมีตาตามซอกเริ่มเกิดที่จะพัฒนาไปเป็นตาตามซอกต่อไป

4) ลำต้นอ่อน (Young Stem)
   - เป็นกลุ่มเนื้อเยื่อที่เซลล์ยังแบ่งตัวได้อีก ถึงแม้จะมีการแบ่งตัวถึงระดับหนึ่งแล้ว
   - จะพัฒนาต่อไปเป็นลำต้นที่มีความแข็งแรงมากขึ้น

- การเจริญเติบโตขั้นปฐมภูมิของโครงสร้างภายในลำต้น ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

1) เอพิเดอร์มิส (Epidermis)
   - เป็นชั้นที่อยู่นอกสุด
   - ประกอบด้วยเซลล์คุม เซลล์ผิว และอาจมีขน

2) คอร์เทกซ์ (Cortex)
   - อยู่ถัดจากชั้นเอพิเดอร์มิสเข้าไป อาจเห็นไม่ชัดเจนในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
   - ประกอบด้วยเนื้อเยื่อหลายชนิดเรียงตัวอยู่ไม่กี่ชั้น เช่น พาเรงคิมา และคอลเลงคิมา
   - โดยการแตกกิ่งของลำต้นจะแตกออกจากชั้นคอร์เทกซ์
   - อาจมีชั้นล้านในสุดที่เรียกว่า เอนโดเดอร์มิส แต่อาจจะมองเห็นได้ไม่ชัดเจน

3) สตีล (Stele)
   - อยู่ถัดจากชั้นคอร์เทกซ์ แต่แบ่งแยกกันแบบไม่ชัดเจนนัก ประกอบด้วย
     >> กลุ่มท่อลำเลียง (Vascular Bundle)
     → ในพืชใบเลี้ยงคู่
       - ประกอบด้วยไซเล็มอยู่ด้านใน โฟลเอ็มอยู่ด้านนอก เรียงตัวเป็นระเบียบ
       - มีวาสคิวลาร์แคมเบียมอยู่ตรงกลาง
     → ในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
       - มีไซเล็มและโฟลเอ็มกระจายแบบไม่เป็นระเบียบ ส่วนมากจะอยู่ที่รอบนอก
       - ไม่มีวาสคิวลาร์แคมเบียมอยู่ตรงกลาง จึงไม่ค่อยเจริญออกด้านข้าง แต่จะสูง
       - พืชบางชนิดช่องตรงกลางสุดจะกลวงหายไป เรียกว่า ช่องพิธ (Pith Cavity)

>> วาสคิวลาร์เรย์ (Vascular Ray)

→ อยู่ระหว่างกลุ่มท่อลำเลียงของพืชใบเลี้ยงคู่

→ ส่วนมากเป็นเนื้อเยื่อพาเรงคิมา

→ เป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างคอร์เทกซ์และพิธ

→ ในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะมองไม่เห็นขอบเขตที่ชัดเจนของวาสคิวลาร์เรย์

>> พิธ (Pith)

→ เป็นชั้นที่อยู่ตรงกลางสุดของลำต้น

→ ส่วนมากเป็นเนื้อเยื่อพาเรงคิมา

→ อาจเป็นแหล่งสะสมสารต่างๆ เช่น แป้ง

→ ในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะมองไม่เห็นขอบเขตที่ชัดเจนของพิธ

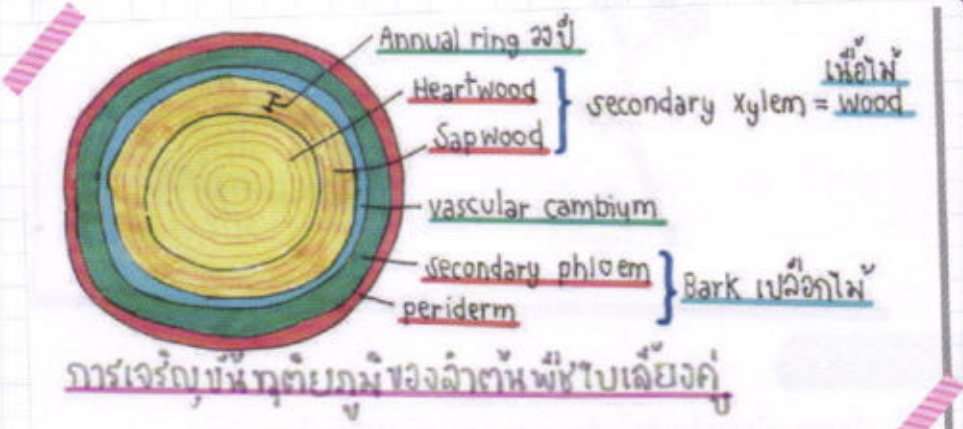
○ การเจริญเติบโตขั้นทุติยภูมิของโครงสร้างภายในลำต้นของพืชใบเลี้ยงคู่ ส่วนที่มีการเจริญ ได้แก่

— วาสคิวลาร์แคมเบียม (Vascular cambium) อยู่ตรงกลางของกลุ่มท่อลำเลียง

- จะรวมตัวกับบันเดิลชีท (Bundle Sheath)
  >> เป็นเนื้อเยื่อพวกพาเรงคิมา หรือสเกลอเรงคิมาที่ห่อหุ้มกลุ่มท่อลำเลียงเอาไว้
- ทำให้สามารถแบ่งเซลล์สร้าง
  >> ไซเล็มทุติยภูมิ (Secondary Xylem) เพิ่มขึ้นทางด้านใน
  >> โฟลเอ็มทุติยภูมิ (Secondary Phloem) เพิ่มขึ้นทางด้านนอก
  โดยมีจำนวนไซเล็มทุติยภูมิมากกว่าเพราะเกิดการแบ่งตัวเข้าข้างในได้เร็วกว่า

- ชื่อเรียกของชั้นไซเล็มทุติยภูมิในแต่ละชั้นของเนื้อไม้จะแตกต่างกันไป
  >> ชั้นไซเล็มที่มีสีจาง ยังคงทำหน้าที่ลำเลียงน้ำ เรียกว่า กระพี้ไม้ (Sapwood)
  >> ชั้นไซเล็มที่มีอายุมาก ไม่ได้ลำเลียงน้ำอีกต่อไป เป็นแถบสีเข้ม เรียกว่า แก่นไม้ (Heartwood)
  → กระพี้ไม้และแก่นไม้ เรียกรวมกันว่า เนื้อไม้ (Wood)
- ในแต่ละปีจะมีการสร้างเนื้อไม้ออกมาได้ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ แร่ธาตุ และปริมาณสารอาหารในปีนั้นๆ
  >> ถ้าอุดมสมบูรณ์ดี ไซเล็มเจริญเติบโตได้เร็ว เซลล์มีขนาดใหญ่ จะได้ไม้ที่มีสีอ่อน
  >> ถ้าแห้งแล้ง ขาดน้ำและแร่ธาตุ ไซเล็มจะเจริญช้า เซลล์มีขนาดเล็ก จะได้ไม้ที่มีสีเข้ม
  → ทำให้เกิดสีเข้มอ่อนสลับกันไป เรียกว่า วงปี (Annual Ring)

– คอร์กแคมเบียม (Cork Cambium)
- เกิดจากการแบ่งเซลล์ของวาสคิวลาร์แคมเบียมที่ไปทำลายเนื้อเยื่อชั้นคอร์เทกซ์ และโฟลเอ็มปฐมภูมิ (Primary Phloem) บางครั้งอาจทำให้เปลี่ยนไปเป็น ไฟเบอร์ จนเหลือแค่เนื้อเยื่อพาเรงคิมาไม่กี่ชั้นที่พัฒนาไปเป็นคอร์กแคมเบียม
- จากนั้นคอร์กแคมเบียมจึงแบ่งเซลล์เกิดเป็นเนื้อเยื่อคอร์ก
  >> ส่งผลให้เอพิเดอร์มิสที่อยู่ชั้นนอกสุดถูกเบียดทับให้หายไป
- ในที่สุดเปลือกด้านนอกของพืชที่มีการเติบโตขึ้นทุติยภูมิของลำต้นจึงกลายเป็นเนื้อเยื่อคอร์กแทน
  >> โดยพืชบางชนิดอาจมีเปลือกไม้ที่หนามากและแตกต่างกันไป เช่น ไม้สัก และไม้ตะแบก



*** พืชใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิดอาจมีการเจริญเติบโตแบบทุติยภูมิเช่นกัน แต่จะไม่เหมือนกับในใบเลี้ยงคู่ เช่น ปาล์ม ไผ่ จันผา และข้าวโพด เป็นต้น ***

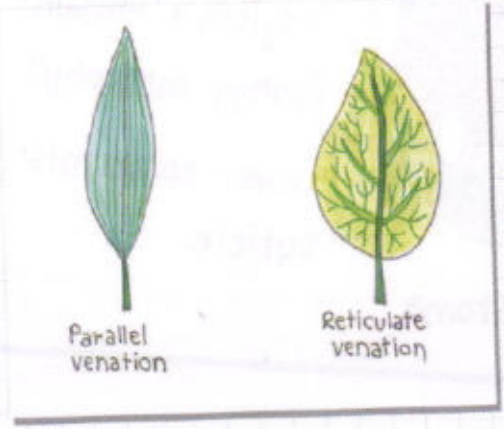
- หน้าที่ของลำต้น
  - เป็นแกนหลักในการช่วยพยุงก้าน ช่อดอกและใบให้ได้รับแสง รวมถึงลำเลียงน้ำและสารอาหาร
  - นอกจากนี้ยังมีลำต้นซึ่งเปลี่ยนไปทำหน้าที่พิเศษอื่นๆ ได้แก่
    - ลำต้นมือเกาะ (Tendril Stem) เช่น องุ่น และพวงชมพู
    - ลำต้นมีหนาม (Thorny Stem) เพื่อป้องกันอันตราย เช่น ส้ม เฟื่องฟ้า และมะนาว
    - ลำต้นแบบเหง้า (Rhizome) เพื่อสะสมอาหาร เช่น ลำต้นที่อยู่ใต้ดินของขิง ข่า เผือก และกล้วย
    - ลำต้นแบบไหล (Stolon หรือ Runner) ลำต้นที่มีปล้องยาวมาก ช่วยในการขยายพันธุ์ เช่น ผักบุ้ง
    - ลำต้นสังเคราะห์แสง (Photosynthetic Stem) เพื่อสร้างอาหาร เช่น กระบองเพชร และพญาไร้ใบ

ใบ (Leaf)

- เป็นอวัยวะของพืชที่เจริญเติบโตยื่นออกมาจากด้านข้างบริเวณข้อของลำต้น
- โครงสร้างภายนอกของใบ ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

1) แผ่นใบ (Blade หรือ Lamina)

- มีหลายขนาด ความหนา และรูปร่าง
- โคนมีกาบใบ (Lead Sheath) เป็นส่วนที่แผ่ออกเป็นแผ่น
- ตรงกลางมีเส้นกลางใบ (Midrib)
  - >> รวมเป็นเนื้อเดียวกับก้านใบบริเวณกลางใบ
  - >> มีการแตกแขนงไปเป็นเส้นใบ (Vein) หรือเส้นใบย่อย (Vientet) ต่อไป
    - ➜ การเรียงตัวของเส้นใบ (Venation) แบ่งเป็น
      - >> เส้นใบแบบขนาน (Parallel Venation) พบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
      - >> เส้นใบแบบร่างแห (Reticulate Venation) พบในพืชใบเลี้ยงคู่



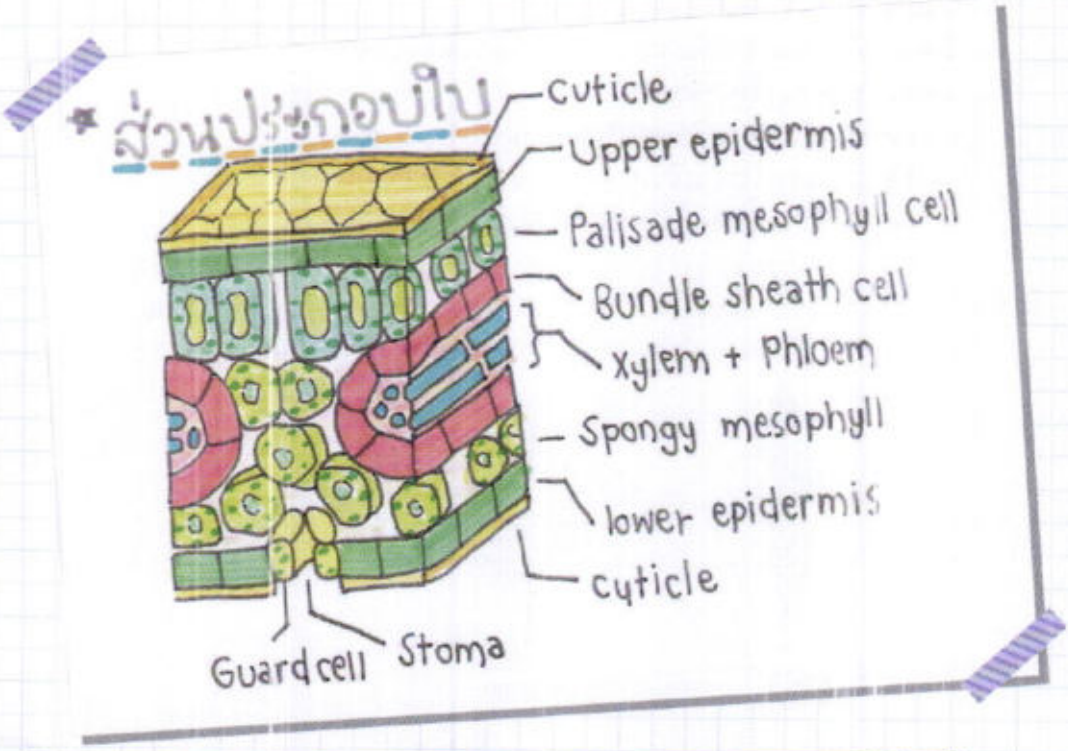
2) ก้านใบ (Petiole หรือ Stalk)

- มีลักษณะคล้ายกับกิ่ง ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างลำต้นกับใบ
- ที่ตามซอกก้านใบมักมีตา แต่ส่วนมากมักไม่พบก้านใบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

3) หูใบ (Stipule)

- มีลักษณะคล้ายใบขนาดเล็กติดอยู่บริเวณโคนก้านใบของพืชใบเลี้ยงคู่ ไม่ค่อยพบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
- ทำหน้าที่ปกป้องอันตรายแก่ตาอ่อนของพืช

○ โครงสร้างภายในของใบ ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่



1) เอพิเดอร์มิส (Epidermis)

- พบได้ทั้งด้านบน (Upper Epidermis) และด้านล่าง (Lower Epidermis) ของใบ
- ประกอบด้วยเซลล์ผิว เซลล์คุม รวมถึงอาจมีขนในพืชบางชนิด
- ภายในเซลล์คุมทั้งในจะมีคลอโรพลาสต์ จึงทำให้เกิดการเปิดปิดของปากใบซึ่งช่วยในการคายน้ำ

>> ปากใบแบบธรรมดา (Typical Stomata) หรือ ปากใบของพืชทั่วไป

→ มีเซลล์คุมอยู่ในชั้นเดียวกับเอพิเดอร์มิส เช่น พืชซึ่งเจริญเติบโตในบริเวณที่มีน้ำปริมาณพอดี

>> ปากใบแบบจม (Sunken Stomata)

→ มีเซลล์คุมอยู่ต่ำกว่าชั้นเอพิเดอร์มิส เช่น พืชซึ่งเจริญเติบโตในบริเวณที่น้ำน้อยหรือแห้งแล้ง พืชป่าชายเลน และพืชทะเลทราย

>> ปากใบแบบยกสูง (Raised Stoma)

→ น้ำจะออกจากปากใบได้เร็วขึ้น เพราะเซลล์คุมอยู่สูงกว่าชั้นเอพิเดอร์มิส เช่น พืช ซึ่งเจริญเติบโตในบริเวณที่มีน้ำอุดมสมบูรณ์มาก

- ผิวของชั้นเอพิเดอร์มิสมีสารคิวทิน (Cutin) เคลือบอยู่

>> เกิดเป็นชั้นคิวทิเคิล (Cuticle) ช่วยในการป้องกันการสูญเสียน้ำ

>> บริเวณที่รับแสงหรือด้านหลังใบ มีสารคิวทินเคลือบอยู่มากกว่า ทำให้หลังใบเป็นมันมากกว่า

- แต่บนใบของพืชบางชนิดอาจมีแวกซ์ (Wax) เคลือบอยู่ เช่น ใบบัวที่มีน้ำกลิ้งไปกลิ้งมาบนใบ

2) มีโซฟิลล์ (Mesophyll) หรือ เนื้อใบ

- อยู่ระหว่างชั้นเอพิเดอร์มิสทั้งชั้นบนและชั้นล่าง อาจเรียกได้ว่าเป็นส่วนของเนื้อใบ
- ส่วนใหญ่เป็นพาเรงคิมาที่มีคลอโรพลาสต์ จึงเรียกรวมกันว่า คลอเรงคิมา (Chlorenchyma)
- ประกอบด้วย

>> แพลิเซดมีโซฟิลล์ (Palisade Mesophyll)

→ อยู่ติดกับเอพิเดอร์มิสที่อยู่ด้านบน เซลล์รูปร่างยาวเป็นทรงกระบอก เรียงชิดกันแน่น

→ มีคลอโรพลาสต์อยู่หนาแน่น ทำให้ด้านหลังใบมีสีเขียวเข้มกว่าด้านท้องใบ

→ ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยหลักในการสังเคราะห์ด้วยแสง

>> สปันจีมีโซฟิลล์ (Spongy Mesophyll)

→ เป็นเซลล์รูปร่างไม่คงที่ เรียงตัวไม่ชิดกัน เกิดเป็นช่องว่างระหว่างเซลล์

→ มีคลอโรพลาสต์อยู่บ้างแต่ไม่มากเท่าแพลิเซดมีโซฟิลล์

→ ทำหน้าที่ช่วยในการคายน้ำ สะสมอาหาร แลกเปลี่ยนก๊าซและสังเคราะห์ด้วยแสงได้บ้าง

3) กลุ่มท่อลำเลียง (Vascular Bundle)

- ทำหน้าที่ช่วยให้ใบสามารถคงรูปอยู่ได้
- ประกอบด้วยไซเล็มและโฟลเอ็ม ส่วนมากพบบริเวณกลางใบในชั้นสปันจีมีโซฟิลล์

>> ทำให้มองเห็นเส้นใบที่ด้านท้องใบนูนออกมาชัดเจน

- ในพืชบางชนิดมีเยื่อหุ้มที่ช่วยเสริมความแข็งแรงมาหุ้มกลุ่มท่อลำเลียงนี้ไว้

>> เรียกว่า 'บันเดิลชีท (Bundle Sheath)' ที่ประกอบขึ้นด้วยการเรียงตัวกันอยู่เป็นชั้น ประมาณ 1 - 2 ชั้น ของเซลล์พาเรงคิมาหรือสเกลอเรงคิมา

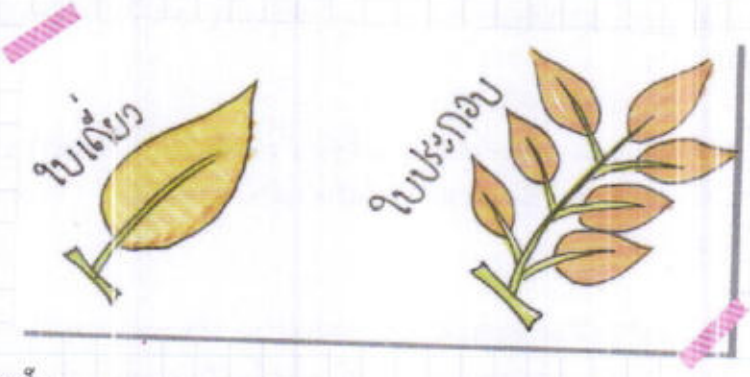
- ชนิดของใบ แบ่งเป็น

1) ใบเดี่ยว (Simple Leaf)

- เป็นใบซึ่งมีแผ่นใบเพียงใบเดียวติดอยู่กับก้านใบที่ออกมาจากกิ่งหรือลำต้น เช่น ต้นมะม่วง ต้นมะละกอ

2) ใบประกอบ (Compound Leaf)

- เป็นใบที่แตกออกเป็นแผ่นใบหลายแผ่นหรือใบย่อย 2 ใบขึ้นไป
  >> โดยใบย่อยอาจติดอยู่บนก้านใบย่อยที่เห็นชัดหรือก้านใบสั้นๆ ไม่ชัดเจน เช่น ต้นมะรุม และอัญชัน



- หน้าที่ของใบ

— สร้างอาหารโดยการสังเคราะห์ด้วยแสง รวมถึงหายใจและคายน้ำ

— นอกจากนี้ยังมีใบที่เปลี่ยนไปทำหน้าที่พิเศษอื่นๆ เช่น

- มือเกาะ (Leaf Tendril) >> เป็นมือเกาะพยุงให้ลำต้นไต่ไปตามที่สูง เช่น ตำลึง มะระ และถั่วลันเตา
- หนาม (Leaf Spine) >> ช่วยป้องกันอันตรายต่างๆ เช่น กระบองเพชร และสับปะรด
- ทุ่นลอย (Floating Leaf) >> ช่วยให้พืชน้ำบางชนิดลอยอยู่ในน้ำได้ เช่น ผักตบชวา
- เกล็ดตา (Bud Scale) >> เป็นส่วนที่หุ้มตาเอาไว้ และจะหลุดเมื่อตาออกมา เช่น จำปี และสาเก
- ใบสะสมอาหาร (Storage Leaf) >> ช่วยในการสะสมน้ำและอาหาร ใบมีลักษณะอวบ เช่น ว่านหางจระเข้
- กับดักแมลง (Insectivorous Leaf) >> ช่วยในการดักจับอาหารจำพวกแมลง เช่น หม้อข้าวหม้อแกงลิง
- ใบดอกหรือใบประดับ (Bract) >> ช่วยรองรับดอกหรือมีความสวยงามเหมือนดอก เช่น เฟื่องฟ้า
- ใบสืบพันธุ์ >> ช่วยในการแพร่พันธุ์ เช่น ต้นตายใบเป็น

3. การสืบพันธุ์ของพืชดอก

แบ่งเป็น

การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ

- โครงสร้างดอกและการสร้างสปอร์
  - โครงสร้างหลัก 4 อย่างของดอกที่ตั้งอยู่บนฐานดอก (Receptacle) ประกอบไปด้วย

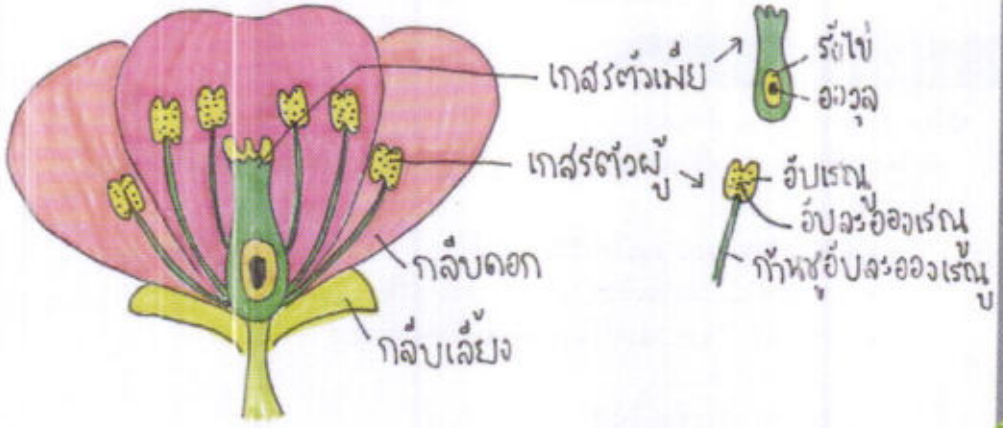
1) กลีบเลี้ยง (Sepal)
   - อยู่นอกสุดของดอก ส่วนใหญ่มีสีเขียว
   - กลีบเลี้ยงที่เรียงตัวกันเป็นวง เรียกว่า วงกลีบเลี้ยง (Calyx)
   - ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายให้ส่วนประกอบอื่นๆ ของดอก

2) กลีบดอก (Petal)
   - อยู่ถัดจากวงกลีบเลี้ยงเข้าไป
   - บางกว่ากลีบเลี้ยง มักมีสีสันสวยงามสำหรับล่อแมลงหรือสัตว์อื่น
   - กลีบดอกที่เรียงตัวกันเป็นวง เรียกว่า วงกลีบดอก (Corolla)

3) เกสรตัวผู้ (Stamen)
   - อยู่ถัดจากวงกลีบดอกเข้าไป
   - มักมีหลายอันและเรียงกันเป็นวง เรียกว่า วงของเกสรตัวผู้ (Androecium)
   - ทำหน้าที่สร้างแกมีโตไฟต์เพศผู้ หรือละอองเรณู (Pollen Grain) บางครั้งอาจทำหน้าที่ผลิตน้ำหวานสำหรับล่อแมลง
   - ประกอบด้วย
     >> ก้านชูอับละอองเรณู (Filament)
     >> อับละอองเรณู (Pollen sac)
     >> อับเรณู (Anther)

4) เกสรตัวเมีย (Pistil)
   - อาจมีอันเดียวหรือหลายอันเรียงกันเป็นวง เรียกว่า วงของเกสรตัวเมีย (Gynoecium)
   - ทำหน้าที่สร้างเซลล์ไข่
   - ประกอบด้วย
     >> ยอดเกสรตัวเมีย (Stigma)
     >> ก้านเกสรตัวเมีย (Style)
     >> รังไข่ (Ovary) ที่ภายในมีออวุล (Ovule)

ส่วนประกอบของดอก



- ประเภทของดอกไม้
  - แบ่งตามโครงสร้างของดอก ดังนี้

1) ดอกสมบูรณ์เพศ (Perfect Flower)
   - เป็นดอกที่มีทั้งเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย เช่น ชบา กุหลาบ มะลิ และเฟื่องฟ้า

2) ดอกไม่สมบูรณ์เพศ (Imperfect Flower)
   - เป็นดอกที่มีเฉพาะเกสรตัวผู้หรือเกสรตัวเมียเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง
   - แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่
     - >> ดอกแยกเพศอยู่ร่วมต้น (Monoecious Plant)
       - → เป็นพืชที่ดอกเพศผู้และดอกเพศเมียอยู่บนต้นเดียวกัน เช่น ฟักทอง และข้าวโพด
     - >> ดอกแยกเพศอยู่ต่างต้น (Dioecious Plant)
       - → เป็นพืชที่ดอกเพศผู้และดอกเพศเมียอยู่คนละต้นกัน เช่น มะละกอ และตาล

3) ดอกสมบูรณ์ หรือ ดอกครบส่วน (Complete Flower)
   - เป็นดอกที่ประกอบด้วยโครงสร้างหลักทั้ง 4 อย่าง
   - ดอกสมบูรณ์เป็นดอกสมบูรณ์เพศเสมอ

4) ดอกไม่สมบูรณ์ หรือ ดอกไม่ครบส่วน (Incomplete Flower)
   - เป็นดอกที่มีส่วนประกอบโครงสร้างหลักไม่ครบทั้ง 4 อย่าง
   - บางครั้งดอกไม่สมบูรณ์อาจเป็นดอกสมบูรณ์เพศก็ได้

— แบ่งตามจำนวนดอก ดังนี้

1) ดอกเดี่ยว (Solitary Flower)

- เป็นดอกหนึ่งดอกที่มีก้านชูดอกเพียงก้านเดียว เช่น บัว ชบา มะเขือ มะลิซ้อน และกุหลาบ

2) ดอกช่อ (Inflorescences Flower)

- เป็นดอกย่อยหลายดอกอยู่บนแกนช่อดอกที่เชื่อมต่อกับก้านชูดอกเพียงก้านเดียว เช่น เข็ม เล็บมือนาง และผกากรอง

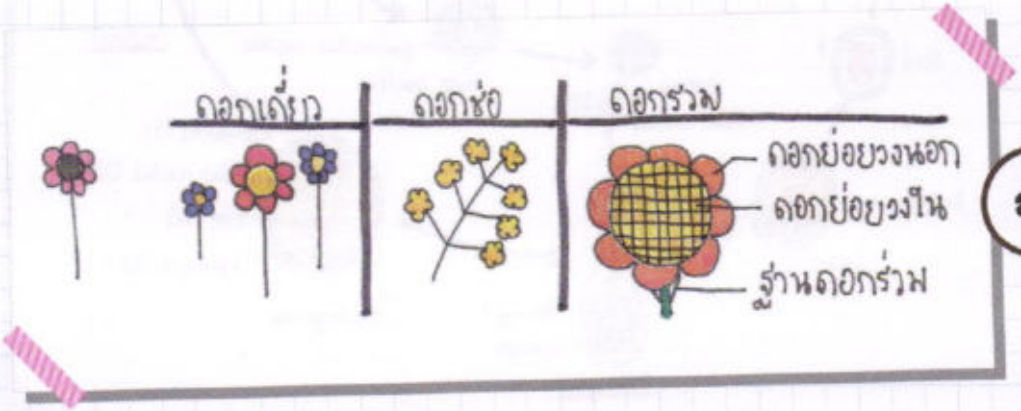
3) ดอกรวม (Composite Flower)

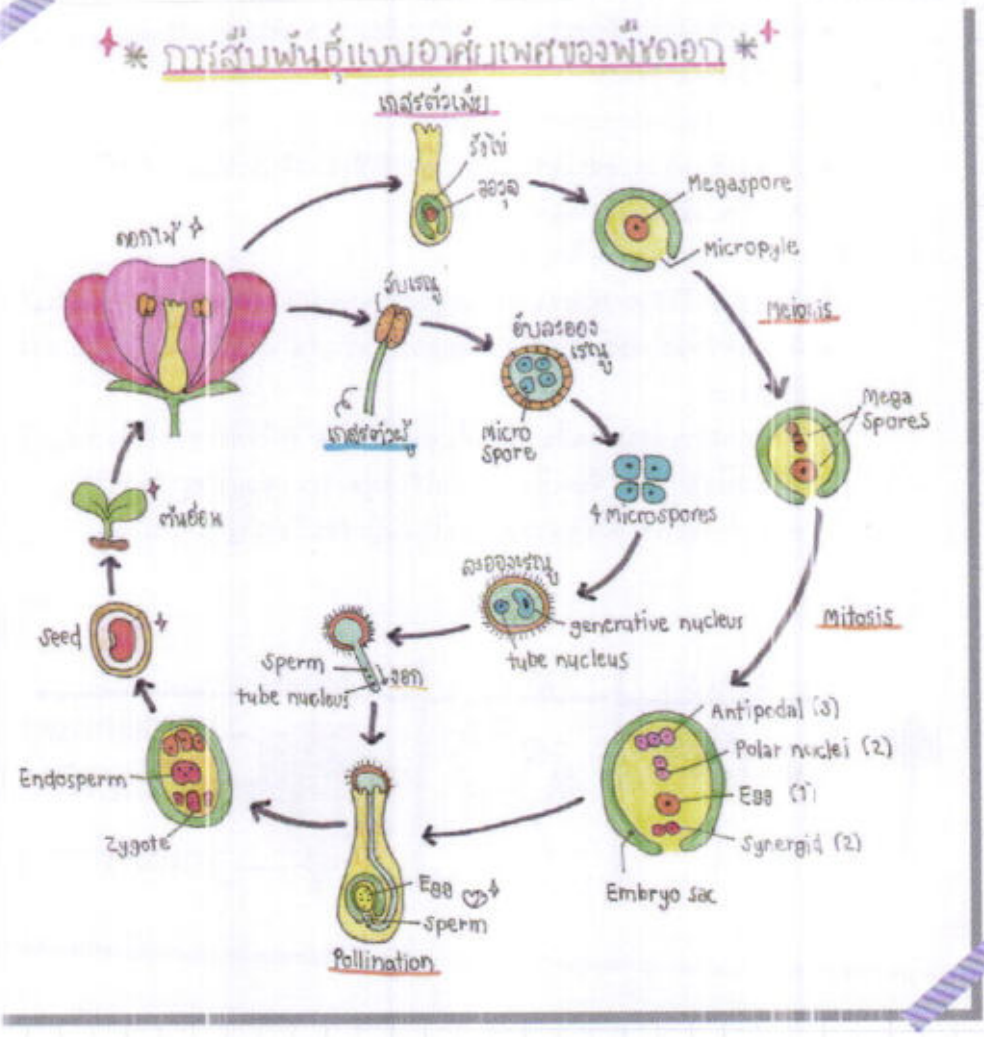
- เป็นดอกช่อซึ่งมีดอกย่อยหลายดอกอยู่ด้วยกันบนฐานรองดอกที่มีก้านชูดอกร่วมกัน
- พืชบางชนิดมีดอกรวมที่ดูเหมือนเป็นดอกเดี่ยว เช่น ดาวเรือง ทานตะวัน และเบญจมาศ

>> เพราะก้านดอกจะหดสั้นกลายเป็นฐานดอกร่วม ทำให้ดอกย่อยอื่นๆ กลายเป็น

➜ ดอกย่อยวงนอก ที่มักเป็นดอกเพศเมียอยู่ตรงรอบนอกของฐานดอกร่วม

➜ ดอกย่อยวงใน ที่เป็นดอกสมบูรณ์เพศอยู่ตรงวงในของฐานดอกร่วม





- การสร้างละอองเรณู (Microsporogenesis) ของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้
  - ถูกสร้างขึ้นใน**อับเรณู** (Anther) ข้างในมี**อับละอองเรณู** (Pollen Sac) 4 อัน
  - ข้างในอับละอองเรณูมีกลุ่มไมโครสปอร์มาเทอร์เซลล์ (Microspore Mother Cell) อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม
  - ไมโครสปอร์มาเทอร์เซลล์ มีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส
    >> ได้เป็นไมโครสปอร์ 4 ไมโครสปอร์ (Microspore)
    → ที่จะเจริญไปเป็นแกมีโตไฟต์เพศผู้ เรียกว่า **ละอองเรณู** (Pollen Gain)

- โดยละอองเรณู จะแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส 2 ครั้ง
  - >> ครั้งที่ 1 ได้ออกมาเป็น
    - → เจเนอเรทีฟนิวเคลียส (Generative Nucleus)
    - → ทิวบ์นิวเคลียส (Tube Nucleus)
  - >> ครั้งที่ 2 ได้ออกมาเป็น
    - → สเปิร์มนิวเคลียส (Sperm Nucleus)
    - → ทิวบ์นิวเคลียส (Tube Nucleus)

— การสร้างไข่ (Megasporogenesis) ของเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย

- ถูกสร้างขึ้นในรังไข่ ภายในประกอบด้วย
  - >> ออวุล 1 ออวุล หรือหลายออวุล (Ovule)
  - >> เมกะสปอร์มาเทอร์เซลล์ (Megaspore Mother Cell)
- เมกะสปอร์มาเทอร์เซลล์ จะแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส 3 ครั้ง ได้ 7 เซลล์ 8 นิวเคลียส อยู่รวมกันในถุงเอ็มบริโอ (Embryo Sac) แยกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้
  - * 3 นิวเคลียสแรก เป็นกลุ่มตรงข้ามกับไมโครไพล์และสร้างเยื่อหุ้มล้อมรอบแต่ละนิวเคลียสไว้
    - → เกิดเป็นเซลล์แอนติโพแดล (Antipodals) จำนวน 3 เซลล์
  - * 3 นิวเคลียสต่อมา เป็นกลุ่มที่อยู่ด้านเดียวกับไมโครไพล์และเปลี่ยนสภาพเป็นเซลล์
    - → เกิดเป็นเซลล์ไข่ (Egg cell) 1 เซลล์
    - → เซลล์ซินเนอร์จิด (Synergid) 2 เซลล์ อยู่ข้างเซลล์ไข่ รวม 3 เซลล์
  - * 2 นิวเคลียสที่เหลือจากแต่ละด้าน เป็นกลุ่มที่อยู่ตรงกลาง
    - → เกิดเป็นเซลล์ที่มีนิวเคลียสคู่ n + n เรียกว่า 'โพลาร์นิวเคลียส (Polar Nucleus)'

○ การถ่ายละอองเรณู (Pollination)

- — เป็นการที่ละอองเรณูมาตกบนยอดเกสรตัวเมียในดอกของพืชชนิดเดียวกัน
- — เมื่อละอองเรณูโตเต็มที่ อับเรณูจะแตกออก ทำให้เกิดการกระจายของละอองเรณู
- — โดยที่ยอดเกสรตัวเมียนั้นจะมีน้ำตาลเหนียวๆ (Stigma) สำหรับดักจับละอองเรณู
- — การถ่ายละอองเรณูอาจอาศัยกระแสลม กระแสน้ำ หรือแมลงมาเป็นตัวช่วยให้ละอองเรณูไปตกบนยอดเกสรตัวเมีย
- — การถ่ายละอองเรณูเกิดได้ 2 วิธี คือ

  1) แบบที่เกิดในดอกเดียวกันหรือคนละดอกภายในต้นเดียวกัน (Self-Pollination)
     - รุ่นลูกจะออกมาเหมือนกับต้นเดิม

  2) แบบที่เกิดในดอกซึ่งอยู่คนละต้นกันแต่เป็นพืชชนิดเดียวกัน (Cross Pollination)
     - รุ่นลูกอาจออกมาไม่เหมือนต้นเดิม อาจมีความหลากหลายเกิดขึ้น

การปฏิสนธิ

- เป็นการที่เซลล์สืบพันธุ์เพศผู้เข้าผสมกับเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย
- เกิดขึ้นหลังจากละอองเรณูตกลงบนยอดเกสรตัวเมีย
- สรุปกระบวนการปฏิสนธิของพืชดอก ดังนี้
  1) ละอองเรณูตกลงบนยอดเกสรตัวเมีย
  2) ละอองเรณูงอกหลอดยาวพอลเลนทิวบ์ (Pollen Tube) ลงไปในก้านเกสรตัวเมีย
  3) ทิวบ์นิวเคลียส จะเคลื่อนตัวนำหน้าไปสร้างท่อที่จะเดินทางไปหาออวุล
  4) เจเนอเรทีฟนิวเคลียส (Generative Nucleus) จะตามหลังไปแบ่งตัวแบบไมโทซิส 1 ครั้ง
     - ได้สเปิร์มนิวเคลียส 2 ตัว (Sperm Nucleus)
  5) ทิวบ์นิวเคลียสสลายตัว สเปิร์มนิวเคลียสทั้งคู่เดินทางเข้าไปปฏิสนธิกับออวุลทางรูไมโครไพล์
  6) สเปิร์มนิวเคลียสตัวแรกจะเข้าไปปฏิสนธิกับนิวเคลียสของไข่ (Egg Cell)
     - ได้ไซโกต (Zygote)
  7) สเปิร์มนิวเคลียสอีกตัวจะเข้าไปปฏิสนธิกับโพลาร์นิวเคลียส (Polar Nucleus)
     - ได้เอนโดสเปิร์ม (Endosperm)
     → การผสมทั้งสองครั้งนี้ เรียกว่า การปฏิสนธิซ้อน (Double Fertilization) พบเฉพาะในพืชดอก
- การเปลี่ยนแปลงหลังปฏิสนธิ มีดังนี้
  >> ไซโกต → เจริญไปเป็นต้นอ่อนอยู่ภายในเมล็ด
  >> เอนโดสเปิร์ม → เจริญไปเป็นเนื้อเยื่อซึ่งทำหน้าที่สะสมอาหารให้ตัวอ่อน
  >> ออวุล → เจริญไปเป็นเมล็ด ที่ภายในมีต้นอ่อนและอาหารสำหรับเลี้ยงต้นอ่อน
  >> รังไข่ → เจริญไปเป็นผล
  >> ผนังหุ้มรังไข่ → เจริญไปเป็นเปลือก หรือเนื้อของผล
  >> เกสรตัวผู้ กลีบดอก และกลีบเลี้ยงจะหลุดร่วง
  >> ส่วนแอนติโพลแดล ซินเนอร์จิด และส่วนประกอบอื่นๆ จะเหี่ยวและสลายไป

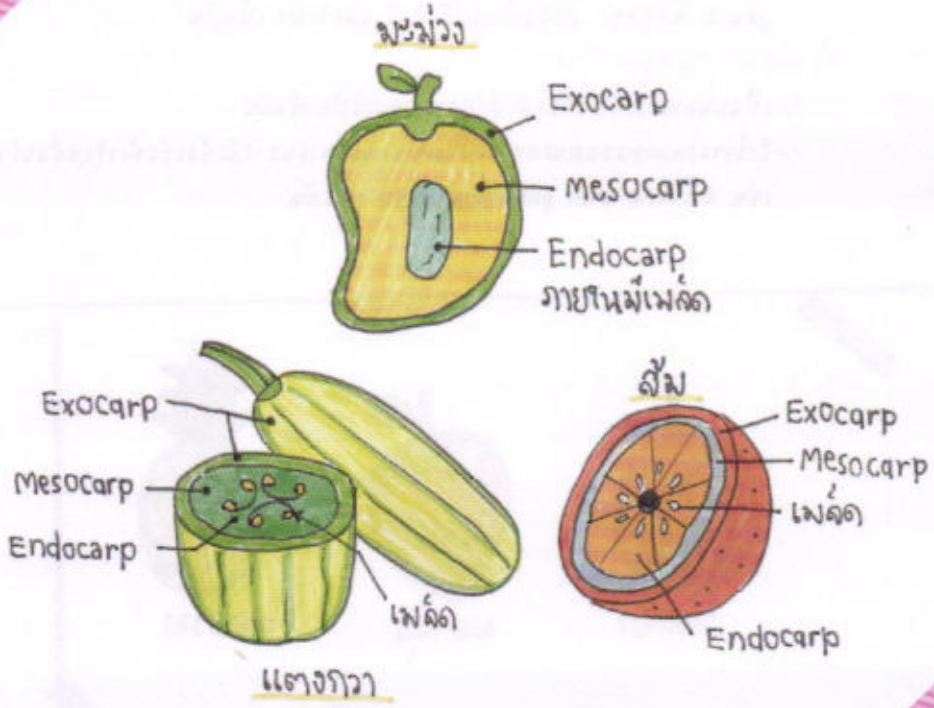
ผล (Fruit)

- เป็นส่วนของพืชที่เจริญมาจากรังไข่ซึ่งได้รับการปฏิสนธิแล้ว และมีการเจริญเติบโตเต็มที่
- ผลลม (Parthenocarpic Fruit) เป็นผลที่เจริญมาจากรังไข่แต่ไม่ได้รับการปฏิสนธิ และไม่มีเมล็ด
- ผลเทียม (Pseudocarp) เป็นผลที่เจริญมาจากส่วนอื่นๆ แล้วมารวมกันเป็นผล เช่น ขนุน เป็นผลที่เจริญมาจากกลีบดอก ชมพู่และสาลี่ เป็นผลที่เจริญมาจากฐานรองดอก

— โครงสร้างของผล แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1) ผนังผล (Pericarp) แบ่งออกเป็น

- ผนังชั้นใน (Endocarp)
  >> เป็นชั้นด้านในสุด มี 2 แบบ
  → มีทั้งแบบนิ่ม เช่น ส้ม
  → แบบแข็ง เช่น เมล็ดของมะม่วง
- ผนังชั้นกลาง (Mesocarp)
  >> เป็นชั้นตรงกลาง
  → ส่วนใหญ่แล้วจะนิ่ม เช่น เนื้อมะละกอ เนื้อมะม่วง
  → แต่อาจเป็นเส้นใยที่มีความเหนียว เช่น ชั้นที่เป็นเส้นใยของส้ม
- ผนังชั้นนอก (Exocarp)
  >> เป็นชั้นด้านนอกสุด
  → อาจเป็นชั้นบางๆ นิ่มๆ เช่น ผลชมพู่ และองุ่น
  → อาจแข็งและเหนียว เช่น เปลือกด้านนอกของฟักทอง



2) เมล็ด (Seed)

- เป็นส่วนที่เจริญมาจากออวุล เป็นที่อยู่ของต้นอ่อนและเป็นแหล่งสะสมอาหาร

— ชนิดของผล แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1) ผลเดี่ยว (Simple Fruit)

>> เป็นผลจากดอก 1 ดอก จะเป็นดอกเดี่ยวหรือดอกช่อก็ได้ แต่ดอกนั้นต้องมีเกสรตัวเมีย 1 เกสร

>> ผลเดี่ยวมีได้หลายแบบ

→ ถ้ามีหลายเมล็ดจะได้ผลออกมาเป็นพวง เช่น ลำไย เงาะ และองุ่น

→ ถ้ามีเมล็ดเดียวจะได้ผลออกมาผลเดียว เช่น ส้ม ทุเรียน และมะม่วง

2) ผลกลุ่ม (Aggregate Fruit)

>> เป็นผลจากดอก 1 ดอก แต่ดอกนั้นต้องมีเกสรตัวเมียมากกว่า 1 เกสรอยู่บนฐานดอก

>> รังไข่ของเกสรตัวเมียแต่ละอันจะเจริญไปเป็นผลย่อยบนฐานดอกเดียวกัน เช่น กุหลาบ น้อยหน่า สตรอว์เบอร์รี จำปี และจำปา เป็นต้น

3) ผลรวม (Multiple Fruit)

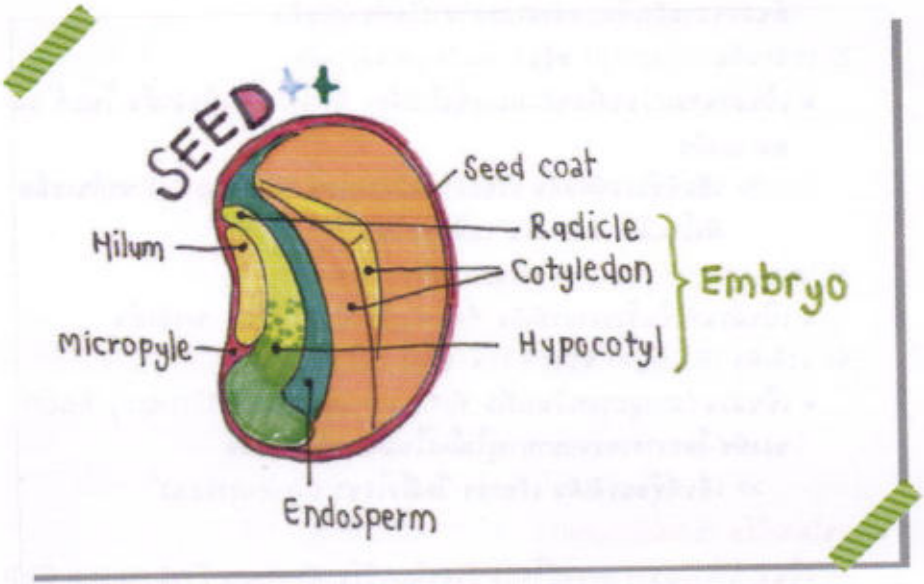
>> เป็นผลจากดอกช่อ ที่มีดอกย่อยหลายดอกเบียดชิดกัน

>> รังไข่ของดอกย่อยแต่ละดอกจะรวมเป็นผลเดียวเพราะมีเนื้อเยื่อที่เจริญเชื่อมกัน เช่น สับปะรด สาเก ลูกยอ และมะเดื่อ เป็นต้น

ผลเดี่ยว

ผลกลุ่ม

ผลรวม



- เมล็ด
  - เป็นส่วนที่เจริญมาจากออวุลซึ่งผ่านการปฏิสนธิ ช่วยในการขยายพันธุ์ของพืช
  - แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่
    - เปลือกเมล็ด (Seed Coat)
      - >> เป็นส่วนที่เจริญมาจากผนังของออวุล (Integument)
      - >> ทำหน้าที่ห่อหุ้มและป้องกันอันตรายให้กับเอ็มบริโอ รวมถึงกักเก็บน้ำไว้
      - >> แบ่งเป็น 2 ชั้น คือ เปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอกและชั้นใน
      - >> บริเวณผิวเมล็ดจะมีรอยแผลเป็นเล็กๆ ที่เกิดจากการหลุดของก้านออวุล
        - → เรียกว่า ไฮลัม (Hilum) และมีรูขนาดเล็กว่า เรียกว่า ไมโครไพล์ (Micropyle)
    - เอ็มบริโอ (Embryo) หรือ ต้นอ่อน
      - >> เป็นส่วนที่เจริญมาจากไซโกต (Zygote)
      - >> มีส่วนประกอบสำคัญ ดังนี้

1) ใบเลี้ยง (Cotyledon)

- มีจำนวน 1 – 2 ใบ โดยพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอาจมี 1 ใบ ในพืชใบเลี้ยงคู่มี 2 ใบ
- ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายแก่ยอดอ่อน ดูดซึมและย่อยอาหารที่สะสมไว้มาเลี้ยงต้นอ่อนรวมถึงเป็นแหล่งสะสมอาหารในพืชบางชนิด

2) เอพิคอทิล (Epicotyl) หรือลำต้นที่อยู่เหนือใบเลี้ยง

- เป็นส่วนของเอ็มบริโอบริเวณเหนือใบเลี้ยง ที่จะเจริญไปเป็นลำต้น ใบแท้ และดอกของพืช
  - >> เยื่อที่หุ้มเอพิคอทิล เรียกว่า โคลีออพไทล์ (Coleoptile) พบในเมล็ดพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น เมล็ดข้าวโพด

3) ไฮโพคอทิล (Hypocotyl) หรือลำต้นที่อยู่ใต้ใบเลี้ยง

- เป็นส่วนที่เป็นขั้วของแรดิเคิล ที่จะเจริญไปเป็นส่วนสั้นๆ ของลำต้น

4) แรดิเคิล (Radicle) หรือรากอ่อน หรือรากแรกเกิด

- เป็นส่วนปลายสุดของเอ็มบริโอ ที่จะกลายไปเป็นรากแก้ว (Primary Root) ของพืช โดยจะงอกออกมาทางรูไมโครไพล์บนเปลือกเมล็ด
  - >> เยื่อที่หุ้มแรดิเคิล เรียกว่า 'โคลีโอไรซา (Coleorhiza)'

- เอนโดสเปิร์ม (Endosperm)
  - >> เป็นส่วนที่เจริญมาจากเซลล์ไพรมารีเอนโดสเปิร์ม (Primary Endosperm Cell)
  - >> ทำหน้าที่สะสมอาหารไว้ให้ต้นอ่อนใช้ในการเจริญเติบโต
  - >> อาหารที่สะสมไว้ส่วนใหญ่จะเป็นแป้ง ที่เหลือจะเป็นไขมันหรือโปรตีน
  - >> แต่ในพืชบางชนิดเอนโดสเปิร์มอาจไม่มีหรือไม่เจริญจึงใช้ใบเลี้ยงเป็นที่สะสมอาหารแทน

- การงอกของเมล็ด (Seed Germination) แบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่
  - การงอกแบบที่ใบเลี้ยงอยู่เหนือดิน (Epigeal Germination)
    - >> เพราะไฮโพคอทิลหรือลำต้นใต้ใบเลี้ยง (ที่อยู่ด้านล่าง) เติบโตดีมาก จึงดึงเอพิคอทิลหรือลำต้นเหนือใบเลี้ยงขึ้นมาด้วย
    - >> ส่วนมากพบในพืชใบเลี้ยงคู่
  - การงอกแบบที่ใบเลี้ยงจมอยู่ใต้ดิน (Hypogeal Germination)
    - >> เพราะไฮโพคอทิลหรือลำต้นใต้ใบเลี้ยงโตช้ากว่าเอพิคอทิลหรือลำต้นเหนือใบเลี้ยง ทำให้ไฮโพทิลไม่ได้โผล่ขึ้นมาด้วย มีเพียงเอพิคอทิลเท่านั้นที่ขึ้นมาเหนือดิน
    - >> ส่วนมากจะพบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

— ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด ได้แก่

- น้ำและความชื้น
  >> ช่วยทำให้เปลือกเมล็ดนุ่มลง ออกซิเจนแพร่เข้าไปได้ง่าย และย่อยอาหารที่สะสมไว้
  >> จึงถือว่าน้ำและความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการงอกของเมล็ด
- ก๊าซออกซิเจน
  >> เมล็ดพืชต้องการก๊าซออกซิเจนในการช่วยให้เกิดพลังงานในเซลล์พืช
  >> ปกติแล้วจะต้องการก๊าซออกซิเจนประมาณ ร้อยละ 20 ในการงอก
- อุณหภูมิ
  >> เมล็ดพืชแต่ละชนิดต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมในการงอกที่แตกต่างกันไป
  >> แต่เมล็ดพืชบางชนิดต้องการอุณหภูมิแบบร้อนและหนาวสลับกันไปเรื่อยๆ
- แสงสว่าง
  >> เมล็ดพืชบางชนิดจะงอกได้เมื่อมีแสงเท่านั้น
  >> ปัจจุบันมีการปรับปรุงพันธุ์พืชให้งอกได้โดยไม่ต้องใช้แสง

— สภาพพักตัวของเมล็ด (Seed Dormancy)

- เป็นสภาพที่ทำให้เมล็ดยังไม่งอก หรืองอกช้า
- สาเหตุอาจเกิดจาก

1) เปลือกเมล็ด

>> หนาและแข็งจนน้ำซึมผ่านเข้าไปไม่ได้ แก้ได้ด้วยการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน หรือให้นกหรือสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมกินเมล็ดเข้าไปแล้วถ่ายเมล็ดออกมา หรือเผาไฟให้เปลือกเมล็ดแตกออกมา

>> มีสารที่ไม่ให้น้ำซึมผ่าน ได้แก่ ไข คิวทิน ลิกนิน และซูเบอริน บนผนังเซลล์ของเปลือกเมล็ด แก้ได้ด้วยการแช่เมล็ดในน้ำ

>> ไม่ยอมให้ออกซิเจนแพร่ผ่าน แก้ได้ด้วยการทุบทำให้เปลือกเมล็ดแตกออกมา

2) เอ็มบริโอยังไม่ถึงเวลาเจริญเต็มที่

>> ทำให้เมล็ดยังไม่สามารถงอกได้ แก้ได้ด้วยการทิ้งให้เอมบริโอเจริญเต็มที่ในผลให้เสร็จ

3) เอนโดสเปิร์มมีจำนวนน้อย

>>ทำให้งอกยาก เพราะอาหารไม่เพียงพอสำหรับเลี้ยงเอ็มบริโอระหว่างการงอก แก้ได้ด้วยการใช้สารช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อเป็นแหล่งอาหารให้เมล็ด

4) ผลกระทบจากสารเคมี

>> ปริมาณสารเคมี เช่น กรดแอบไซซิก (Abscisic acid) ที่ยับยั้งการงอก แก้ได้ด้วยการใช้สารที่กระตุ้นการงอกของเมล็ด เช่น จิบเบอเรลลิน (Gibberellin)

- การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ด ทั่วไปสามารถทำได้ 2 วิธี

1) การเร่งอายุเมล็ดพันธุ์

>> ใช้ตรวจสอบว่าเมล็ดพันธุ์นี้ถ้าเก็บไว้นานจะมีอัตราการงอกได้สูงเพียงใด

>> ตรวจสอบด้วยการนำเมล็ดใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 40 - 50 °C ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 เป็นเวลานาน 2 - 8 วัน จากนั้นจึงตรวจผลที่ได้

→ ถ้าเมล็ดพันธุ์นั้นแข็งแรง จะมีอัตราการงอกสูง

2) การวัดดัชนีการงอก

>> เริ่มจากความเชื่อที่ว่าเมล็ดพันธุ์ซึ่งมีความแข็งแรงกว่าจะงอกได้เร็วกว่า

>> สามารถวัดได้ด้วยการใช้สูตร $\sum \frac{\text{จำนวนต้นที่งอกในแต่ละวัน}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะ}}$

>> และยังช่วยให้ทราบได้อีกด้วยว่าแหล่งเพาะปลูกใดสามารถปลูกได้ผลผลิตดี

การสืบพันธุ์ของพืชแบบไม่อาศัยเพศ

- เป็นการสืบพันธุ์ที่ไม่ผ่านการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์ โดยต้นลูกที่ได้จะเหมือนกับต้นแม่ทุกประการ
- ตัวอย่างของการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ เช่น

• การนำส่วนต่างๆ ของพืชไปใช้

>> เป็นวิธีที่ทำให้เกิดการขยายพันธุ์ได้เร็ว แต่พืชใหม่จะไม่มีรากแก้วอาจทำให้ไม่แข็งแรง >> โดยใช้ส่วนที่เป็นราก ลำต้นใต้ดิน ใบ และช่อดอก เช่น การต่อกิ่ง (Grafting) การติดตา (Budding) การทาบกิ่ง (Layering) การปักชำ (Cutting)

• การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (Plant Tissue Culture)

>> เป็นการนำเทคโนโลยีชีวภาพมาใช้ เพื่อขยายพันธุ์พืชให้ได้คราวละมากๆ โดยมีลักษณะคงเดิม

>> ใช้วิธีนำส่วนใดส่วนหนึ่งของพืช เช่น เนื้อเยื่อ และเซลล์ของพืช มาเพาะเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์

→ จนกลายเป็นแคลลัส (Callus) ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ และทำให้เกิดการเติบโตเป็นส่วนอื่นต่อไป

>> พืชที่นิยมนำมาขยายพันธุ์ด้วยวิธีนี้ เช่น พืชเศรษฐกิจทั้งหลาย

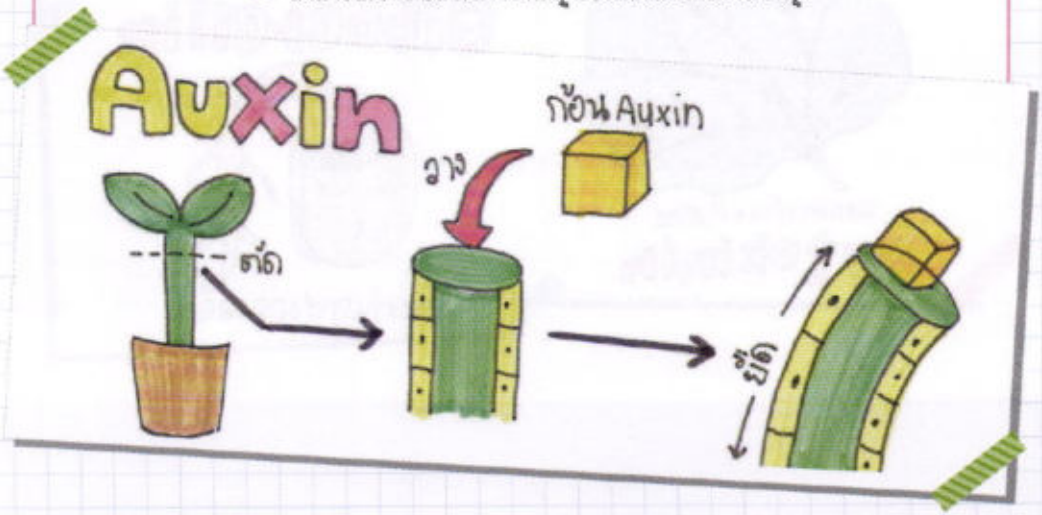
• การทำเมล็ดเทียม (Artificial Seed)

>> เหมาะสำหรับพืชที่เวนโดสเปิร์มไม่ค่อยเติบโตทำให้ปลูกด้วยเมล็ดไม่ค่อยสำเร็จ

>> ทำได้โดยนำกลุ่มเซลล์ซึ่งได้มาจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่เติบโตจนถึงขั้นเอ็มบริโอ (เทียม) มาเลี้ยงให้เหมือนอยู่ในเมล็ดจริงแล้วจึงนำไปปลูก

4. ฮอร์โมนพืช (Phytohormone)

- พืชสามารถสร้างสารเคมี และลำเลียงไปยังส่วนต่างๆ ของพืชได้ เพื่อใช้ในการควบคุมการเจริญเติบโต
- มีด้วยกัน 5 กลุ่มใหญ่ ได้แก่
  - ออกซิน (Auxin หรือ IAA)
    - สร้างที่กลุ่มเซลล์เนื้อเยื่อเจริญ ได้แก่ ตา ใบอ่อน ผลอ่อน และเมล็ด โดยเฉพาะที่ปลายยอดและปลายราก
    - ทำงานด้วยการตอบสนองต่อสิ่งเร้าต่างๆ รอบตัว เช่น อุณหภูมิ แสงสว่าง และแรงโน้มถ่วงของโลก
    - มีการเคลื่อนที่แบบขนีแสง และมีผลต่อลำต้นมากกว่าราก
    - ทำหน้าที่ >> ช่วยให้พืชเกิดการตอบสนองต่อสิ่งเร้าต่างๆ รอบตัว
      >> กระตุ้นการเจริญและยืดตัวของปลายรากและปลายยอด
      >> ช่วยชะลอการแก่ของพืช ที่ทำให้เกิดการร่วงหลุดของใบ ดอกหรือผลแก่
      >> ช่วยในการออกดอกของพืชบางชนิด โดยบางครั้งอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนเพศดอก
      >> ช่วยให้เกิดผลได้โดยไม่ต้องมีการปฏิสนธิ เรียกว่า 'พาร์ทีโนคาร์ปี (Parthenocarpy)'
      >> สามารถใช้เป็นสารกำจัดศัตรูพืชได้ถ้ามีความเข้มข้นสูง



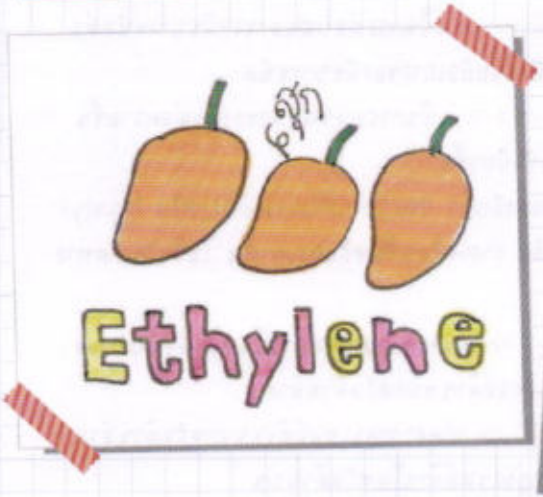
— ไซโตไคนิน (Cytokinin)

- บริเวณเนื้อเยื่อเจริญปลายรากเป็นแหล่งสร้างที่สำคัญ
- นอกจากจะพบในพืชแล้วยังพบในสารสกัดจากยีสต์หรือน้ำมันมะพร้าว
- ทำหน้าที่ >> กระตุ้นให้เกิดการแบ่งเซลล์
  >> กระตุ้นให้เกิดการเจริญของกิ่งก้าน และตาข้าง
  >> เร่งให้รากที่ตัดมาจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเจริญเร็วขึ้น
  >> กระตุ้นการเกิดยอดของแคลลัส ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ
  >> ชะลอการแก่ของผลไม้บางชนิด

— จิบเบอเรลลิน (Gibberellin หรือ GA)

- สร้างมาจากหลายส่วนของพืช เช่น ปลายราก อับเรณู และผล เป็นต้น
- ทำหน้าที่ >> กระตุ้นการงอกของเมล็ดและตา
  >> กระตุ้นการออกดอกได้เร็วขึ้นและเกิดดอกมากขึ้น
  >> ช่วยยืดอายุของช่อผลให้อยู่ได้นานขึ้น
  >> ช่วยในการปรับปรุงคุณภาพขององุ่น
  >> กระตุ้นการยืดตัวและแบ่งเซลล์มากขึ้น ทำให้ลำต้นมีการเจริญเติบโตไม่แคระแกร็น
- ปัจจุบันมีการใช้สารยับยั้งจิบเบอเรลลินในกิจการไม้ประดับเพื่อให้เจริญเติบโตช้าลง

- เอทิลีน (Ethylene)
  - มีคุณสมบัติเป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้อง
  - เกิดในกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช โดยเฉพาะในช่วงผลสุก
  - พืชที่ถูกน้ำท่วมจะมีการผลิตเอทิลีนออกมามาก ทำให้ใบเหลือง เหี่ยว และหลุดร่วงจนหมด
  - ทำหน้าที่ >> ช่วยให้เมล็ดออกจากระยะพักตัว
    >> เร่งการออกผลผลิตได้เร็วขึ้น เช่น การสุกของผลไม้ การไหลของน้ำยาง และการงอกของเมล็ดถั่ว
    >> กระตุ้นการออกดอกของมะม่วงและพืชวงศ์สับปะรดให้เร็วขึ้น
    >> ช่วยให้เกิดการหลุดร่วงของใบและกลีบดอกหลังปฏิสนธิ
    >> ชะลอการเจริญของกิ่ง ใบ และการยืดยาวของลำต้น
- กรดแอบไซซิก (Abscisic Acid หรือ ABA)
  - เป็นฮอร์โมนที่สร้างจากหลายส่วนของพืช
  - ทำหน้าที่ >> ช่วยกักเก็บน้ำด้วยการปิดปากใบเมื่อขาดน้ำ
    >> ทำให้เกิดการพักตัวของตาและเมล็ด
    >> ทำให้เกิดการหลุดของใบและผลแก่
    >> ชะลอการเจริญและการยืดขยายของเซลล์ที่จะทำให้ลำต้นสูงขึ้น

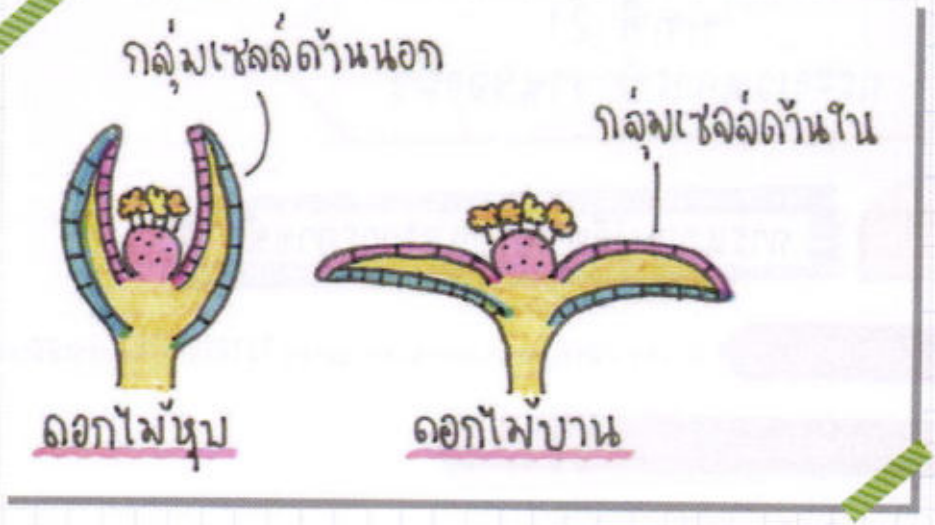


5. การตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมของพืช

แบ่งเป็น

การตอบสนองด้วยการเคลื่อนไหวเพื่อการเจริญเติบโต (Growth Movement) ดังนี้

- การตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายนอก (Stimulus Movement) มี 2 แบบ แบ่งเป็น
  - แบบมีทิศทางเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับสิ่งเร้า (Tropic movement หรือ Tropism)
    - เป็นการตอบสนองที่ทำให้ส่วนของพืช
      - >> โค้งหรือเจริญเข้าหาสิ่งเร้า จะเรียกว่า Positive Tropism
      - >> เคลื่อนที่หนีสิ่งเร้า จะเรียกว่า Negative Tropism
    - ได้แก่
      - >> จีโอทรอปิซึม (Geotropism) >> เป็นการตอบสนองของพืชต่อแรงโน้มถ่วงของโลก เช่น ปลายยอดจะเจริญต้านแรงโน้มถ่วงเพื่อรับแสง
      - >> โฟโททรอปิซึม (Phototropism) >> เป็นการตอบสนองของพืชต่อสิ่งเร้าที่เป็นแสง เช่น ปลายยอดจะเจริญขึ้นข้างบน แต่ปลายรากจะทิ่มลงดิน
      - >> เคมอทรอปิซึม (Chemotropism) >> เป็นการตอบสนองของพืชด้วยการเจริญเข้าหาหรือหนีจากสารเคมี เช่น การงอกของละอองเรณูเข้าไปในก้านเกสรตัวเมีย
      - >> ทิกมอทรอปิซึม (Thigmotropism) >> เป็นการตอบสนองของพืชบางชนิดต่อการสัมผัส เช่น การเลื้อยพันหลักด้วยมือเกาะของพืชบางชนิด
      - >> ไฮโดรทรอปิซึม (Hydrotropism) >> เป็นการตอบสนองของพืชต่อความชื้น เช่น รากของพืชจะงอกไปหาพื้นที่เปียกชื้น
  - แบบมีทิศทางซึ่งไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้า (Nastic Movement หรือ Nasty)
    - เป็นการตอบสนองที่มีทิศทางคงที่ คือ การเคลื่อนขึ้นหรือลงเท่านั้น ไม่ขึ้นกับทิศทางของสิ่งเร้า ได้แก่
      - >> การบานของดอกไม้ (Epinasty) >> เกิดจากกลุ่มเซลล์ด้านในหรือด้านบนของกลีบดอกขยายขนาดมากกว่ากลุ่มเซลล์ด้านนอกหรือด้านล่าง
      - >> การหุบของดอกไม้ (Hyponasty) >> เกิดจากกลุ่มเซลล์ด้านนอกหรือด้านล่างของกลีบดอกขยายขนาดมากกว่ากลุ่มเซลล์ด้านในหรือด้านบน



- การตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายในต้น (Autonomic Movement) แบ่งเป็น
  - การเอนหรือส่ายยอดไปมา (Nutation Movement)
    - เป็นการเคลื่อนไหวที่เกิดเฉพาะส่วนยอดเท่านั้น
    - เกิดจากแต่ละด้านของพืชโตไม่เท่ากัน ยอดพืชจึงเอนไปมา
  - การบิดเป็นเกลียวของลำต้น (Spiral Movement)
    - เป็นการเคลื่อนไหวที่ปลายยอดค่อยๆ บิดเป็นเกลียวไปรอบๆ หลัก
    - เกิดจากลำต้นทั้งสองด้านเจริญเติบโตไม่เท่ากัน แต่จะบิดเกลียวไปทีละนิดแบบช้ามากๆ

การตอบสนองด้วยการเคลื่อนไหวจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเต่ง (Turgor Movement) แบ่งเป็น

- การเปิดและการปิดของปากใบ (Guard Cell Movement)
- การหุบใบตอนค่ำของพืชตระกูลถั่ว (Sleep Movement)
  - เป็นการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงของพืชตระกูลถั่ว
- การหุบใบเพราะการสะเทือน (Contract Movement) เช่น
  - การหุบใบของต้นไมยราบ
  - การหุบของใบพืชจำพวกที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเพื่อจับแมลง เช่น ใบของต้นหม้อข้าวหม้อแกงลิง และต้นสาหร่ายข้าวเหนียว

บทที่ 21
กระบวนการทำงานของพืช

1. การแลกเปลี่ยนก๊าซและการคายน้ำ

สาเหตุ ○ เพราะพืชต้องการแลกเปลี่ยนก๊าซต่างๆ ไว้ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง

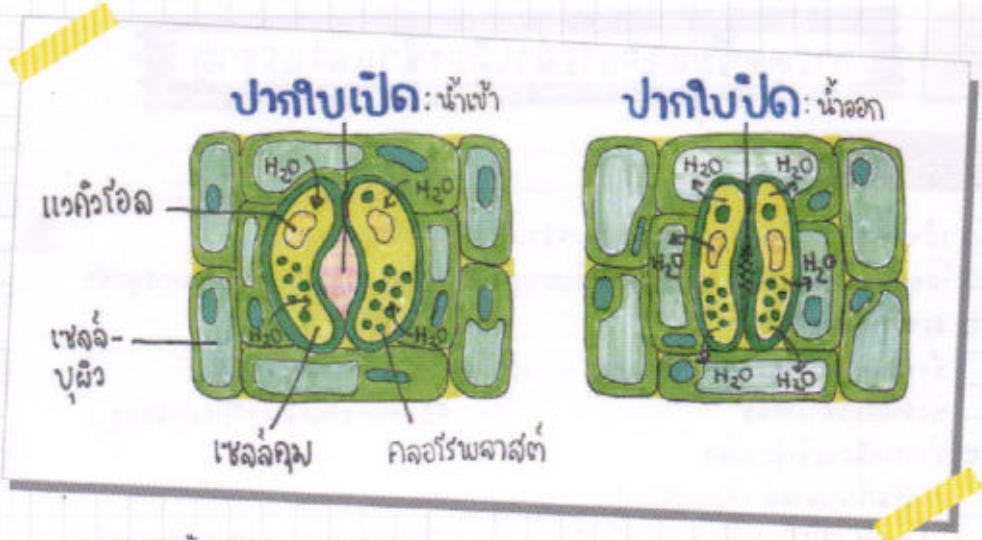
จึงทำให้เกิดกระบวนการดังต่อไปนี้

○ การเปิด-ปิดของปากใบ

- ปากใบเป็นเหมือนประตูที่คอยควบคุมการเข้าออกหรือปริมาณน้ำในพืช เพราะมีผลต่อการคายน้ำของพืช
- 80% การสูญเสียน้ำของพืชจะผ่านทางรูปากใบ
- การเปิดของปากใบที่ขึ้นอยู่กับความเต่งของเซลล์คุม (Guard Cell) นั้น สรุปได้ดังนี้
  - เริ่มจากเซลล์คุมจะมีการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน
  - ภายในเซลล์คุมจึงมีระดับน้ำตาลสูงขึ้น ทำให้ความเข้มข้นสูงขึ้น น้ำจึงออสโมซิสเข้าไปในเซลล์คุม
  - เมื่อน้ำเข้าไปในเซลล์คุมจึงทำให้เซลล์คุมเต่งขึ้นมา รูปากใบจึงเปิดในที่สุด
    >> ยิ่งเซลล์คุมเต่งมากเท่าไร ปากใบก็จะยิ่งเปิดกว้างมากขึ้นเท่านั้น
  - เมื่อรูปากใบเปิดจะเกิดช่องว่างตรงกลางให้พืชคายน้ำออกมาทางปากใบได้
- การปิดของปากใบ จึงเกิดขึ้นเมื่อไม่มีการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งทำให้เกิดเหตุการณ์ตรงกันข้ามนั่นก็คือ

  1) ระดับน้ำตาลลดลง ทำให้ความเข้มข้นลดลง น้ำจึงออสโมซิสออกจากเซลล์คุม

  2) เมื่อน้ำออกจากเซลล์คุมทำให้เซลล์คุมลีบ ปากใบจึงปิดในที่สุด



- การคายน้ำ (Transpiration)
  - เป็นการแพร่ของน้ำออกจากใบผ่านทางปากใบ
  - ช่วยให้พืชคลายร้อน ทำให้พืชเกิดแรงดันน้ำในการดูดซึม ช่วยในการลำเลียงน้ำและแร่ธาตุจากดินได้
  - แต่บางครั้งพืชมีการคายน้ำมากเกิน ทำให้เกิดผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช

ปัจจัยที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซและการคายน้ำ

- อุณหภูมิ
  - ถ้าอุณหภูมิสูง >> จะเกิดการคายน้ำได้มาก
  - แต่ถ้าอุณหภูมิสูงมากเกินไป >> รูปากใบจะปิดเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ
- ความชื้นในอากาศ
  - ถ้าความชื้นในอากาศต่ำ >> น้ำจะระเหยออกทางรูปากใบมากขึ้น >> เกิดการคายน้ำเพิ่มขึ้น
- ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
  - ถ้าอยู่ในบริเวณที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไป >> รูปากใบจะแคบลง
- น้ำในดิน
  - ถ้าสภาพน้ำในดินน้อยลง >> รูปากใบจะปิด >> การคายน้ำลดลง
- แสงสว่าง
  - ในกรณีที่พืชได้รับน้ำเพียงพอ และมีความเข้มแสงมากขึ้น >> รูปากใบจะเปิดมากขึ้น >> คายน้ำได้มากขึ้น
  - แต่ในกรณีที่พืชได้รับน้ำไม่พอต่อให้ความเข้มแสงมีมากขึ้น >> รูปากใบก็จะเปิดน้อยลงอยู่ดี

2. การดูดซึมและการลำเลียงน้ำและแร่ธาตุ

การดูดน้ำ

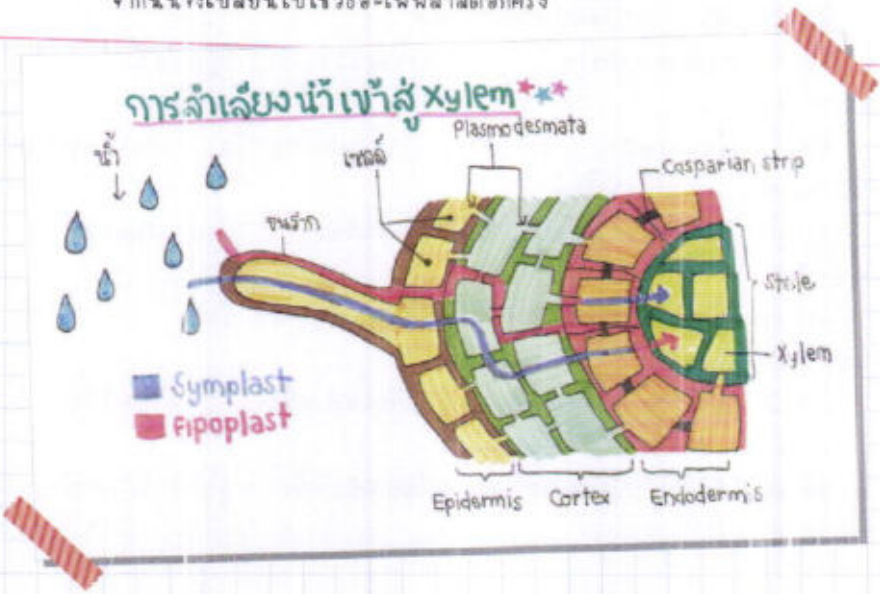
- เป็นการดูดน้ำจากดินเข้าสู่รากพืชและจะลำเลียงจากรากขึ้นสู่ยอดต่อไป
- โดยที่รากจะมีขนรากช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมน้ำ โดยจะใช้วิธีออสโมซิสในการดูดซึม
- สรุปเส้นทางการดูดน้ำ ดังนี้

  น้ำจากดิน >> ขนราก >> คอร์เทกซ์ >> เอนโดเดอร์มิส >> เพอริไซเคิล >> ท่อลำเลียงน้ำไซเล็ม

  ที่มีแถบหนาแคสพาเรียนสตริปอยู่
- น้ำจะเคลื่อนเข้าสู่รากโดย
  - วิธีอะโพพลาสต์ (Apoplast)
    - เป็นวิธีที่น้ำจะผ่านจากเซลล์หนึ่งทางผนังเซลล์หรือผ่านทางช่องว่างระหว่างเซลล์

      >> โดยน้ำจะเคลื่อนที่ผ่านเซลล์ขนราก >> ผ่านชั้นคอร์เทกซ์ >> ผ่านชั้นเอนโดเดอร์มิส >> แต่จะไม่สามารถผ่านไปตามผนังเซลล์ที่มีแถบแคสพาเรียนสตริปได้ น้ำจึงต้องเคลื่อนที่ด้วย
  - วิธีซิมพลาสต์ (Symplast)
    - เป็นวิธีที่น้ำผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่ไซโตพลาสซึมและพลาสโมเดสมาตา (Plasmodesmata)

      >> ทำให้น้ำผ่านเข้าผนังเซลล์ด้านที่มีแถบแคสพาเรียนสตริปได้ >> ไปถึงท่อไซเล็ม จากนั้นจึงเปลี่ยนไปใช้วิธีอะโพพลาสต์อีกครั้ง



- ปัจจัยที่ทำให้พืชดูดซึมน้ำได้ดีขึ้น คือ
  - ปริมาณน้ำในดินมาก แต่ไม่มากจนเกิดน้ำท่วมขัง
  - ในอุณหภูมิที่พอดีไม่ต่ำหรือสูงจนเกินไป
  - ความเข้มข้นของสารละลายในดินไม่มากเกินไป

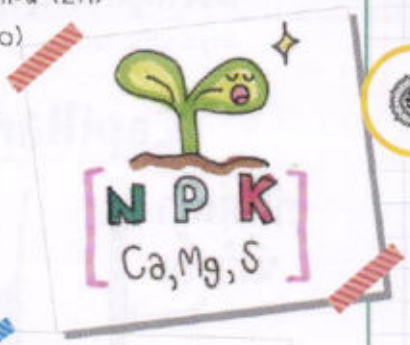
การดูดซึมแร่ธาตุ

- วิธีที่ใช้ในการดูดซึมแร่ธาตุ ได้แก่
  - วิธีการแพร่ธรรมดา (Simple Diffusion) ในการนำแร่ธาตุจากบริเวณที่มีแร่ธาตุมากไปยังบริเวณที่มีแร่ธาตุน้อย
  - วิธีการแบบใช้พลังงาน (Active Transport) เป็นการใช้พลังงานจากการหายใจในการนำแร่ธาตุจากบริเวณที่มีแร่ธาตุน้อยไปยังบริเวณที่มีแร่ธาตุมากกว่า
- โครงสร้างร้อยละ 96 ของพืชนั้น ประกอบด้วยธาตุหลัก คือ ออกซิเจน คาร์บอน และไฮโดรเจน
- โครงสร้างร้อยละ 4 ของพืช คือ แร่ธาตุที่พืชต้องการ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

  1) ธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณมาก (ร้อยละ 3.5) ได้แก่
     - ธาตุอาหารที่จำเป็นที่สุด คือ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K)
     - ธาตุอาหารที่จำเป็นรองลงมา คือ แคลเซียม (C) แมกนีเซียม (Mg) และซัลเฟอร์ (S)

  2) ธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณน้อย (ร้อยละ 0.5) ได้แก่
     - คลอรีน (Cl) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โบรอน (B) และโมลิดินัม (Mo)

- หากพืชขาดหรือได้รับแร่ธาตุชนิดใดมากเกิน จะส่งผลต่อพืชแตกต่างกันไป เช่น
  - ถ้าขาดไนโตรเจน จะทำให้ใบกลายเป็นสีเหลืองทั้งใบโดยเริ่มที่ใบแก่ก่อน
  - แต่ถ้ามีไนโตรเจนมากไปจะทำให้ใบมีสีเขียวเข้มและมีจำนวนใบมากเกินไป
    - มีการนำความรู้นี้มาประยุกต์ใช้กับการปลูกพืชในสารละลายหรือไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) เป็นการปลูกพืชในกระถางซึ่งมีแร่ธาตุที่พืชนั้นๆ ต้องการเพื่อเพิ่มผลผลิต

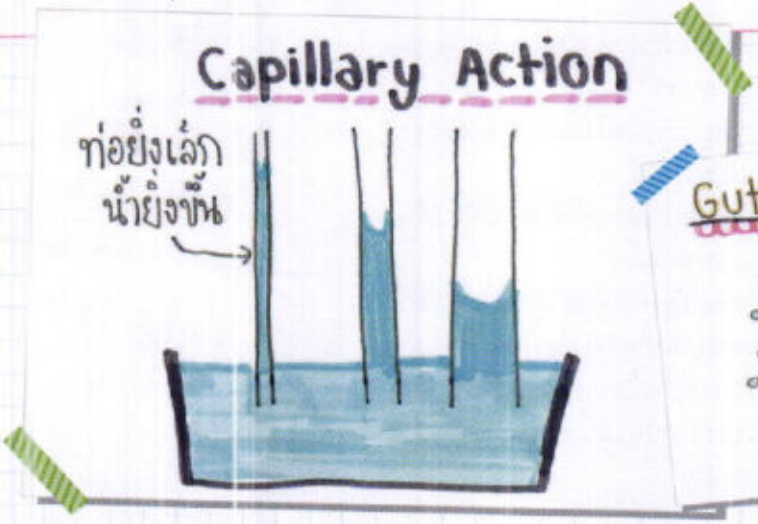


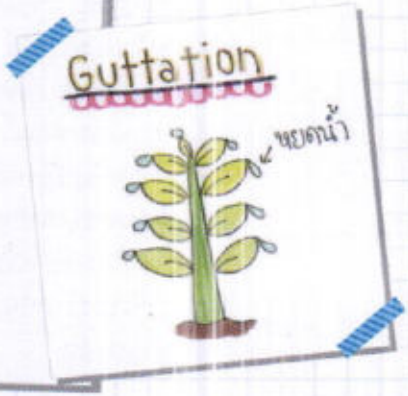
การลำเลียงน้ำและแร่ธาตุ

- เป็นการลำเลียงน้ำและแร่ธาตุที่มีในดินเข้าสู่รากของพืชและเข้าสู่ท่อลำเลียงไซเล็มต่อไป
- ลำเลียงได้เฉพาะแนวขึ้นแนวเดียวเท่านั้น
- สามารถลำเลียงได้ 3 วิธี คือ
  - การซึมตามรูเล็ก (Capillary Action)
    - เป็นแรงดันของน้ำที่ถูกดันขึ้นไปตามท่อที่มีขนาดเล็กๆ
      - >> โดยอาศัยแรงแอดฮีชั่น (Adhesion) ซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลต่างชนิดกัน
      - >> ในที่นี้คือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำกับผนังท่อไซเล็ม
    - เป็นวิธีที่ใช้ในพืชซึ่งมีขนาดไม่สูงนัก ท่อลำเลียงน้ำมีขนาดเล็ก วิธีนี้แรงดันที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อย
  - แรงดันราก (Root pressure)
    - เป็นแรงดันน้ำในเซลล์ราก ที่ช่วยดันน้ำและแร่ธาตุให้ไหลขึ้นไปตามท่อไซเล็ม
    - จะเกิดได้ง่ายขึ้นถ้าพืชนั้นคายน้ำไม่ดี ไม่มีแรงดัน หรืออยู่ในพื้นที่ซึ่งมีน้ำในดินมาก
    - เป็นวิธีที่ใช้ในพืชที่มีความสูงไม่มาก และยังทำให้เกิดปรากฏการณ์กัตเตชัน (Guttation) ขึ้นอีกด้วย

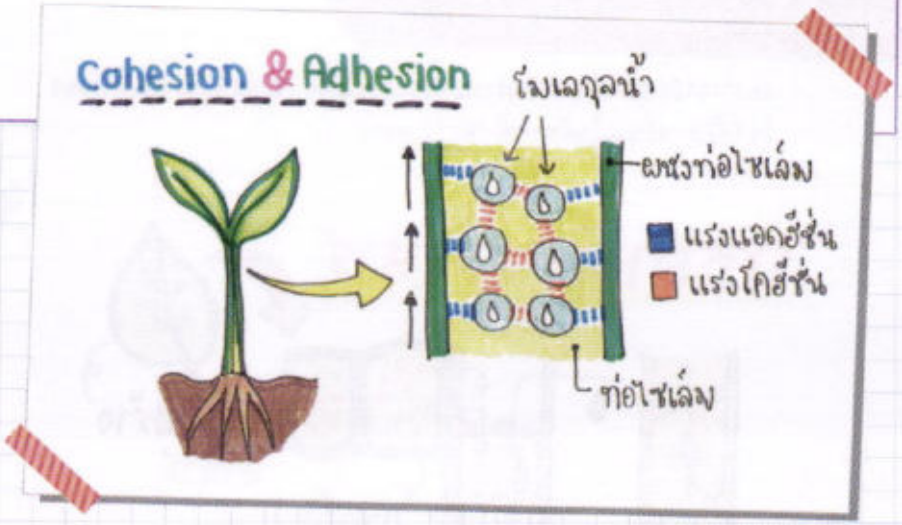
ปรากฏการณ์กัตเตชัน (Guttation)

→ เป็นการกำจัดน้ำของต้นพืช แม้ว่าจะอยู่ในสภาพที่คายน้ำได้ไม่ดี เช่น เวลากลางคืน โดยน้ำจะถูกกำจัดในรูปของหยดน้ำ ผ่านช่องตามขอบใบ ที่เรียกว่า 'ไฮดาโทด (Hydathode)'





- แรงดึงจากการคายน้ำ (Transpiration Pull หรือ Shoot Tension)
  - เป็นแรงดันของน้ำที่เกิดขึ้นเมื่อมีการคายน้ำที่ปากใบทำให้เกิดแรงดึงขึ้น
    - >> โดยอาศัยแรงโคฮีชั่น (Cohesion) ซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลชนิดเดียวกัน
    - >> ในที่นี้คือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำด้วยกันเอง
  - เป็นวิธีที่ใช้ในพืชที่พบได้ทั่วไปและพืชที่มีลำต้นสูง เพราะมีค่าความดันสูงและสามารถดันน้ำขึ้นไปได้มาก



3. การลำเลียงสารอาหาร

ลำเลียงได้ทั้งขึ้นและลง แต่ใช้เวลานานกว่าการลำเลียงน้ำ

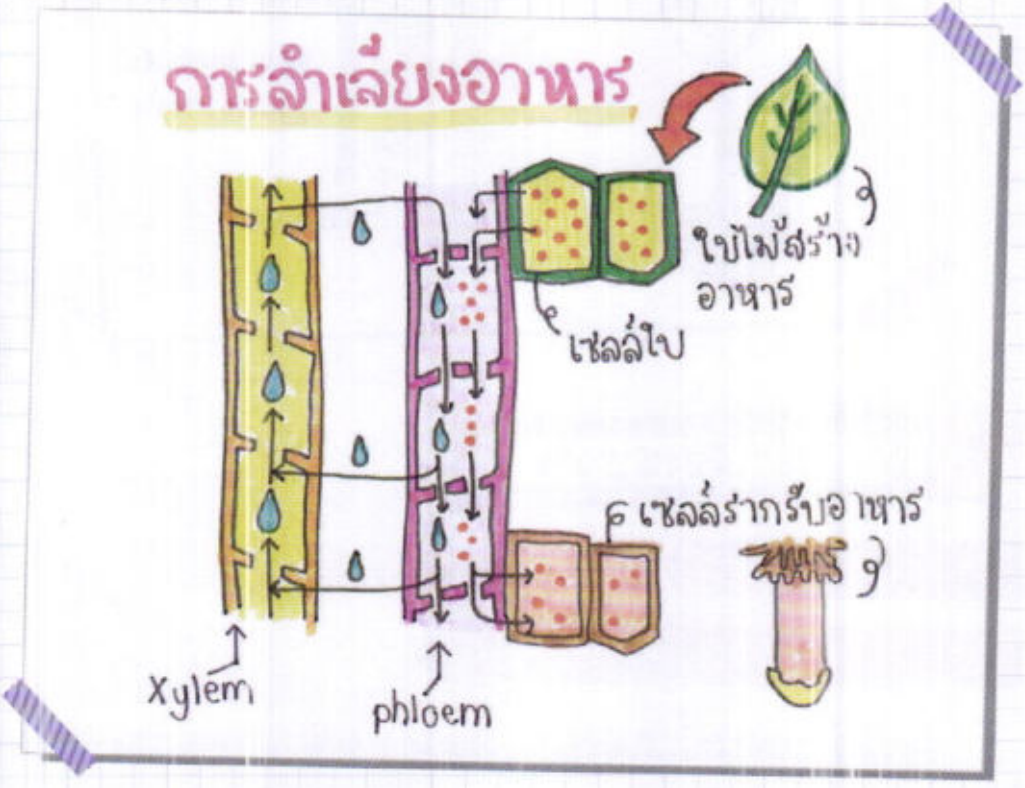
สรุปกระบวนการลำเลียงสารอาหารของพืช

โดยนักวิทยาศาสตร์ อี มันช์ (E. Munch) ดังนี้

1) เริ่มจากน้ำตาลที่พืชได้มาจากการสังเคราะห์ด้วยแสงจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลซูโครส
2) น้ำตาลซูโครสเหล่านี้จะถูกลำเลียงไปที่โฟลเอ็มผ่านทางซีฟทิวบ์ (Sieve Tube) ของโฟลเอ็ม
   - โดยเป็นการลำเลียงแบบใช้พลังงาน (Active Transport)
3) น้ำออสโมซิสเข้าสู่ซีฟทิวบ์ต้นทางเพราะมีความเข้มข้นสูงขึ้น
4) เกิดแรงดันในการลำเลียงน้ำตาลซูโครสให้เดินทางไปจนถึงซีฟทิวบ์ปลายทาง
5) จากนั้นน้ำตาลซูโครสจะออกจากซีฟทิวบ์ปลายทางไปยังเนื้อเยื่อของพืชที่ต้องการใช้
6) เมื่อน้ำตาลออกไปแล้ว จึงทำให้มีความเข้มข้นในซีฟทิวบ์ปลายทางลดลง น้ำจะแพร่ออกทำให้แรงดันลดลง

การลำเลียงสารอาหารของพืชจะเกิดขึ้นตลอดเวลาในพืชที่มีการสังเคราะห์ด้วยแสง

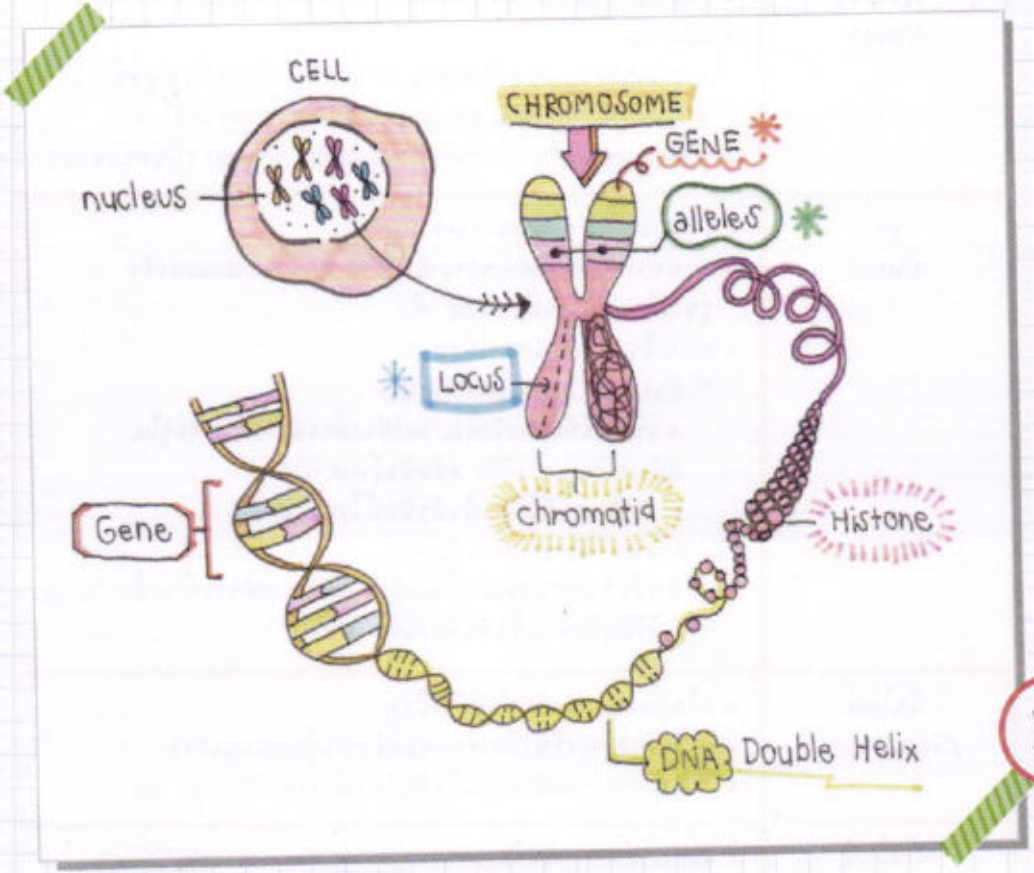
→ เพราะจะมีการลำเลียงจากบริเวณที่มีแรงดันสูงไปบริเวณที่มีแรงดันต่ำเสมอ ในที่นี้คือจากโฟลเอ็มต้นทางไปยังปลายทาง

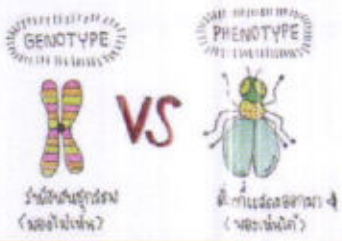


บทที่ 22
พันธุศาสตร์

เป็นการส่งต่อลักษณะต่างๆ จากรุ่นหนึ่ง
ไปสู่รุ่นหนึ่งผ่านสารพันธุกรรมที่มียีน (Gene)
ซึ่งเป็นตำแหน่งที่หลากหลายบนโครโมโซม
ภายในนิวเคลียสของเซลล์สิ่งมีชีวิต

1. คำศัพท์เกี่ยวกับพันธุศาสตร์ที่ควรรู้



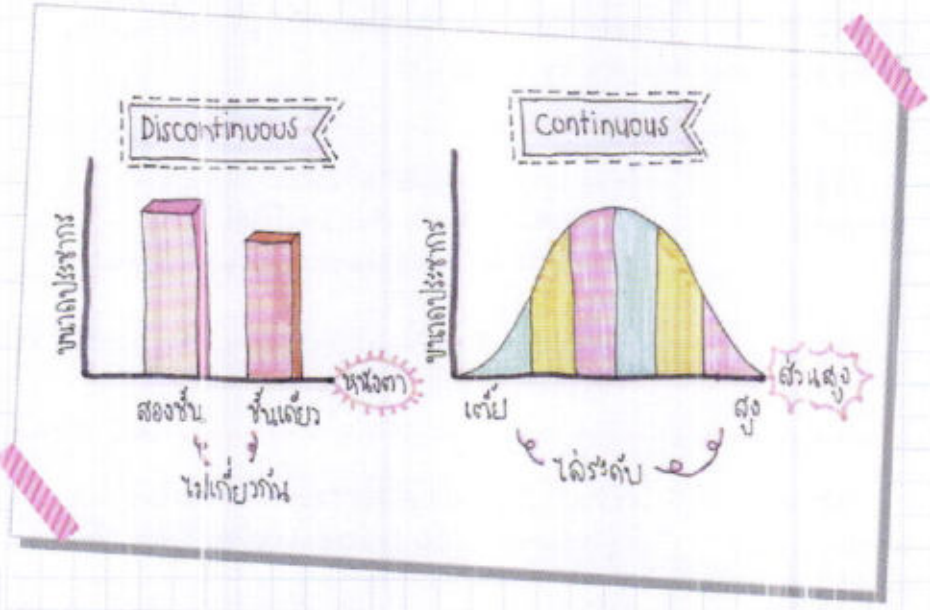
คำศัพท์	คำอธิบาย
โครโมโซม (Chromosome)	• พบในนิวเคลียสของยูแคริโอต หรือบริเวณนิวคลีออยด์ (Nucleoid) ของโพรแคริโอต • ประกอบขึ้นจากกรดนิวคลีอิกชนิดดีเอ็นเอ (DNA) กับ โปรตีน ซึ่งในมนุษย์เป็นโปรตีนชื่อว่า ฮิสโตน (Histone) • ทำหน้าที่เก็บและถ่ายทอดข้อมูลทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต
ดีเอ็นเอ (DNA)	• ย่อมาจากกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (Deoxyribonucleic Acid) • มีลักษณะ * สายเกลียวแบบบันไดเวียน (Double Helix) ในมนุษย์ * แบบวงแหวน (Plasmid) ในสิ่งมีชีวิตพวกโพรแคริโอต • เป็นสารพันธุกรรม ภายในของโมเลกุลมียีน (Gene) เป็นหน่วยย่อย
ยีน (Gene)	• เป็นบริเวณหนึ่งของดีเอ็นเอ (DNA) • ทำหน้าที่กำหนดลักษณะของสิ่งมีชีวิต และสามารถส่งต่อยังรุ่นถัดไปผ่านเซลล์สืบพันธุ์ได้ • แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) ยีนเด่น (Dominant Gene) * เป็นยีนที่แสดงลักษณะของยีนเด่นเสมอไม่ว่าจะอยู่ในสภาวะพันธุ์แท้ (PP) หรือพันธุ์ทาง (Pp) * สัญลักษณ์ที่ใช้จะเป็นตัวพิมพ์ใหญ่ เช่น P 2) ยีนด้อย (Recessive Gene) * เป็นยีนที่จะแสดงออกก็ต่อเมื่ออยู่ในสภาวะพันธุ์แท้เท่านั้น คือ pp * ใช้สัญลักษณ์เป็นตัวพิมพ์เล็ก เช่น p
จีโนไทป์ (Genotype)	• เป็นรูปแบบของยีนที่อยู่กันเป็นคู่ • โดยแต่ละคู่ของยีนได้มาจากเซลล์สืบพันธุ์ของพ่อและแม่ • ใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษเป็นสัญลักษณ์ เช่น PP, Pp, pp
ฟีโนไทป์ (Phenotype)	• ลักษณะต่างๆ หรือข้อมูลของยีนที่แสดงออกมาให้เห็นได้ เช่น ความสูง สี 

คำศัพท์	คำอธิบาย
โลคัส (Locus/Loci)	• เป็นชื่อเรียกตำแหน่งต่างๆ บนโครโมโซมที่มียีนอยู่
อัลลีล (Allele)	• ยีนที่อยู่บริเวณโลคัสของโครโมโซมคู่ที่เหมือนกัน (Homologous Chromosome) ในตำแหน่งเดียวกัน • ทำหน้าที่ควบคุมลักษณะเดียวกัน อัลลีลจะเหมือนหรือต่างกันก็ได้ เช่น * อัลลีลเด่น (Dominant Allele) [อัลลีล P] หรือ * อัลลีลด้อย (Recessive Allele) [อัลลีล p] • ปกติแล้วยีนที่กำหนดลักษณะหนึ่งๆ จะถูกควบคุมโดยอัลลีล 2 อัลลีล * แต่บางครั้งมีปรากฏการณ์ที่เรียกว่า มัลติเพิลอัลลีลส์ (Multiple Alleles) * เป็นการที่ยีน 1 ตัวซึ่งควบคุมลักษณะหนึ่งนั้นมีหลายอัลลีลเข้ามากำหนด เช่น ระบบเลือด ABO มี 3 อัลลีล
โฮโมไซกัส ยีน (Homozygous Gene)	• คู่ของยีนที่มาเข้าคู่กันมีลักษณะเดียวกัน เพื่อกำหนดลักษณะของสิ่งมีชีวิต ก่อให้เกิดลักษณะพันธุ์แท้ เช่น PP AA และ RR
เฮเทอโรไซกัส ยีน (Heterozygous Gene)	• คู่ของยีนที่มาเข้าคู่กันมีลักษณะต่างกัน ก่อให้เกิดลักษณะพันธุ์ทาง เช่น Pp Aa และ Rr
พันธุ์แท้ (Homozygous)	• เป็นชื่อเรียกพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตที่อัลลีลของลักษณะใดๆ มาเข้าคู่กันมีลักษณะเหมือนกันแล้วก่อให้เกิด * โฮโมไซกัส โดมิแนนท์ (Homozygous Dominance) หรือ พันธุ์เด่นแท้ (PP) * โฮโมไซกัส รีเซสซีฟ (Homozygous Recessive) หรือ พันธุ์ด้อยแท้ (pp)
พันธุ์ทาง (Heterozygous)	• เป็นชื่อเรียกพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตที่อัลลีลของลักษณะใดๆ ที่มาเข้าคู่กันมีลักษณะต่างกัน คือมีแค่ยีนเด่นคู่กับยีนด้อย (Pp)

2. ความแปรผันทางพันธุกรรม

แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

- การแปรผันแบบต่อเนื่อง (Continuous Variation)
  - ลักษณะพันธุกรรม
    - เป็นลักษณะเชิงปริมาณ (Quantitative Trait)
    - ไม่สามารถจำแนกลักษณะที่ปรากฏออกมาได้ชัดเจน
    - มักถูกควบคุมด้วยยีนหลายคู่ หรือมัลติเพิล ยีน (Multiple Genes)
      เช่น ลักษณะของสีผิว สีผม สีตา น้ำหนัก ส่วนสูง และระดับสติปัญญา
- การแปรผันแบบไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Variation)
  - ลักษณะพันธุกรรม
    - เป็นลักษณะเชิงคุณภาพ (Qualitative Trait)
    - สามารถจัดจำแนกลักษณะที่ปรากฏออกมาได้ชัดเจน
    - มักถูกควบคุมด้วยยีนเพียงไม่กี่คู่
      เช่น การมีหรือไม่มีลักยิ้ม การห่อลิ้นได้หรือไม่ได้ จำนวนชั้นของตา และการมีหรือไม่มีติ่งหู



3. การทดลองและกฎของเมนเดล

เกรเกอร์ โยฮันน์ เมนเดล (Gregor Johann Mendel)

- เป็นบาทหลวงและอาจารย์วิทยาศาสตร์ชาวออสเตรีย มีชีวิตอยู่ในช่วง ค.ศ.1822 - 1884
- ได้ทำการสังเกตลักษณะของถั่วลันเตา (Pisum Sativum) เป็นเวลา 7 ปี
- จากนั้นจึงรายงานผลที่ได้ที่สมาคมประวัติศาสตร์ทางธรรมชาติ (Natural History Society)
- ต่อมานักวิทยาศาสตร์คนอื่นใช้แนวคิดของเขาในการสังเกตพืชชนิดอื่น และพบว่าเป็นจริงอย่างที่เมนเดลรายงาน
- เมนเดลจึงเป็นที่รู้จักและถูกขนานนามว่าเป็น บิดาแห่งวิชาพันธุศาสตร์

เหตุผลที่เมนเดลเลือกถั่วลันเตามาทดสอบ

- ถั่วลันเตา (Pisum Sativum)
  - ชื่อสามัญ ได้แก่ Pea, Sugar Pea, Sweet Pea, Garden Pea, Green Pea เป็นพืชในวงศ์ถั่ว (Fabaceae)
- ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วลันเตาที่โดดเด่น คือ
  - เป็นไม้ล้มลุก โดยทั่วไปมีต้นหลัก (Main Stem) เป็นต้นเดียว มีลักษณะเป็นเถาเลื้อย อายุสั้น
  - ดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ (Complete Flower) ที่พบทั่วไปมีสีขาวและสีม่วง
  - โครงสร้างดอกทำให้เกิดการผสมกันเอง (Self-Fertilization) มากกว่าข้ามดอก (Cross Fertilization)
  - ลักษณะที่แสดงออกสังเกตง่าย เพราะมีความแตกต่างอย่างชัดเจน เช่น ผิวของเมล็ด และสีของดอก

ลักษณะที่ใช้ในการสังเกตถั่วลันเตามี 7 อย่าง

สีเมล็ด	เหลือง	เขียว
รูปร่างเมล็ด	กลม	ขรุขระ
สีดอก	ม่วง	ขาว
สีฝัก	เขียว	เหลือง
รูปร่างฝัก	อวบ	แฟบ
ลำต้น	สูง	เตี้ย
ตำแหน่งดอก	ที่กิ่ง	ที่ยอด

studied by Gregor Mendel.

วิธีสังเกตการส่งต่อลักษณะของถั่วลันเตา

- การผสมพันธุ์ถั่วลันเตาภายในดอกเดียวกัน (self-fertilization) หลายๆ รุ่น
  - เพื่อหาว่าลักษณะใดบ้างที่เป็นลักษณะแท้ (Pureline) คือ เด่นแท้ (PP) หรือ ด้อยแท้ (pp) ของถั่วลันเตา
- จากนั้นเมนเดลจึงผสมถั่วลันเตาข้ามต้น (Cross-Fertilization) เพื่อพิจารณาทีละลักษณะ
- เมนเดลเลือกพิจารณาสีของฝักระหว่างสีเหลืองในต้นแรกและสีเขียวในต้นที่สอง โดย
  - เรียกถั่วทั้งสองต้นนี้ว่า รุ่นพ่อแม่ (Parent Generation) ใช้สัญลักษณ์ P
  - เรียก รุ่นลูกรุ่นแรก ที่เกิดจากรุ่นพ่อแม่ว่า Fist Filial Generation ใช้สัญลักษณ์ F_1
- ผลพบว่า ลูกรุ่นแรก (F_1) ที่เกิดขึ้นมากมายทั้งหมดนั้นแสดงลักษณะฝักสีเขียวออกมาทั้งสิ้น
  - แม้ว่าจะมีการสลับตัวพ่อและแม่ F_1 ก็ตาม
- ต่อมาเมนเดลลองผสมรุ่น F_1 แบบผสมในดอกเดียวกันเอง (Self-Fertilization)
  - ให้ได้รุ่นลูกที่ออกมาจากรุ่น F_1 เรียกว่า รุ่นหลาน หรือ Second Filial Generation ใช้สัญลักษณ์ F_2
- ผลที่พบหลังจากผสมรุ่น F_2 ปรากฏว่าบางต้นมีลักษณะฝักสีเหลืองแสดงออกมาด้วย
- โดยทำซ้ำหลายๆ ครั้งและพบอัตราส่วนระหว่างลักษณะฝักสีเขียวต่อฝักสีเหลือง ประมาณ 3 : 1
- ต่อมาเมนเดลได้พิจารณาลักษณะอื่นๆ พบว่าอัตราส่วนนั้นใกล้เคียงกัน ดังตาราง

ลักษณะที่ศึกษา	รุ่นพ่อแม่ (P)	รุ่นลูก (F_1)	ลักษณะที่พบในรุ่นหลาน (F_2)	อัตราส่วนลักษณะ
รูปร่างเมล็ด	กลม X ขรุขระ	กลมทั้งหมด	กลม (5,474) ขรุขระ (1,850)	2.94 : 1
สีเมล็ด	เหลือง X เขียว	เหลืองทั้งหมด	เหลือง (6,022) เขียว (2,001)	3.01 : 1
สีดอก	ม่วง X ขาว	ม่วงทั้งหมด	ม่วง (705) ขาว (224)	3.15 : 1
รูปร่างฝัก	อวบ X แฟบ	อวบทั้งหมด	อวบ (882) แฟบ (229)	2.92 : 1
สีฝัก	เขียว X เหลือง	เขียวทั้งหมด	เขียว (428) เหลือง (152)	2.82 : 1
ตำแหน่งดอก	กิ่ง X ยอด	กิ่งทั้งหมด	กิ่ง (615) ยอด (207)	3.14 : 1
ความสูงลำต้น	สูง X เตี้ย	สูงทั้งหมด	สูง (787) เตี้ย (277)	2.94 : 1

ข้อสรุปจากผลการทดลองและการสังเกตของเมนเดล

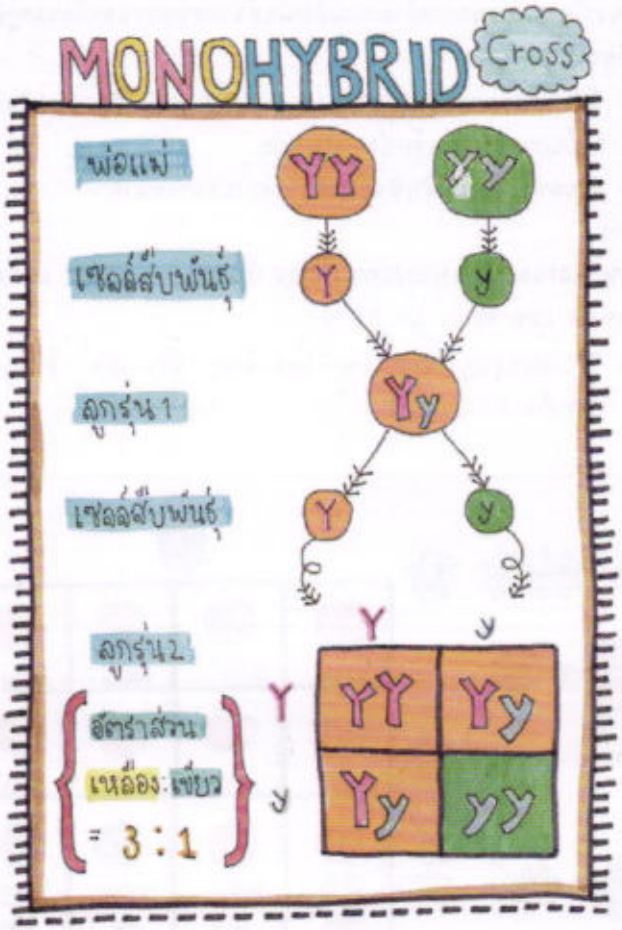
- ลักษณะที่แสดงออกมาถูกควบคุมโดยบางสิ่งที่อยู่กันเป็นคู่ๆ เรียกสิ่งนั้นว่า ยีน (Gene)
- ยีนนั้นจะอยู่กันเป็นคู่และสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นต่อไปได้
- แต่ละลักษณะที่แสดงออกมาจะถูกควบคุมจากยีนคู่หนึ่ง คือ ยีนจากพ่อและยีนจากแม่
- เมื่อมีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ (Gamete) ยีนที่อยู่เป็นคู่จะแยกออกจากกันไป จากนั้นจึงเข้าไปอยู่ในเซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์ และจะกลับมารวมกันใหม่ในระยะไซโกต (Zygote)
- ลักษณะที่ไม่ได้แสดงออกมาในรุ่น F_1 (ฝักเหลือง) ไม่ได้หายไปไหน หากแต่มีอิทธิพลบางอย่างข่มไว้อยู่
- ลักษณะที่ปรากฏออกมาในรุ่น F_1 มีเพียงลักษณะเดียว เรียกว่า ลักษณะเด่น (Dominant Traits)
  - >> แสดงให้เห็นว่าเมื่อยีนที่ควบคุมลักษณะเดียวกันมียีนเด่นและยีนด้อยมาเข้าคู่กัน
    - → จะแสดงลักษณะเด่น (Dominant Trait) ออกมาข่มลักษณะด้อย (Recessive Trait) เสมอ หรือเรียกว่ากฎแห่งลักษณะเด่น
- ส่วนลักษณะนอกเหนือจาก F_1 ที่ไปปรากฏบนรุ่น F_2 เรียกว่า ลักษณะด้อย (Recessive Traits)
- รุ่น F_2 จะแสดงอัตราส่วนระหว่างลักษณะเด่นและลักษณะด้อยได้ประมาณ 3 : 1

กฎของเมนเดล

- เมนเดลได้รวบรวมข้อมูลและตั้งเป็นกฎขึ้นมา 2 ข้อ เพื่อใช้อธิบายการถ่ายทอดลักษณะต่างๆ ของถั่วลันเตา ดังนี้

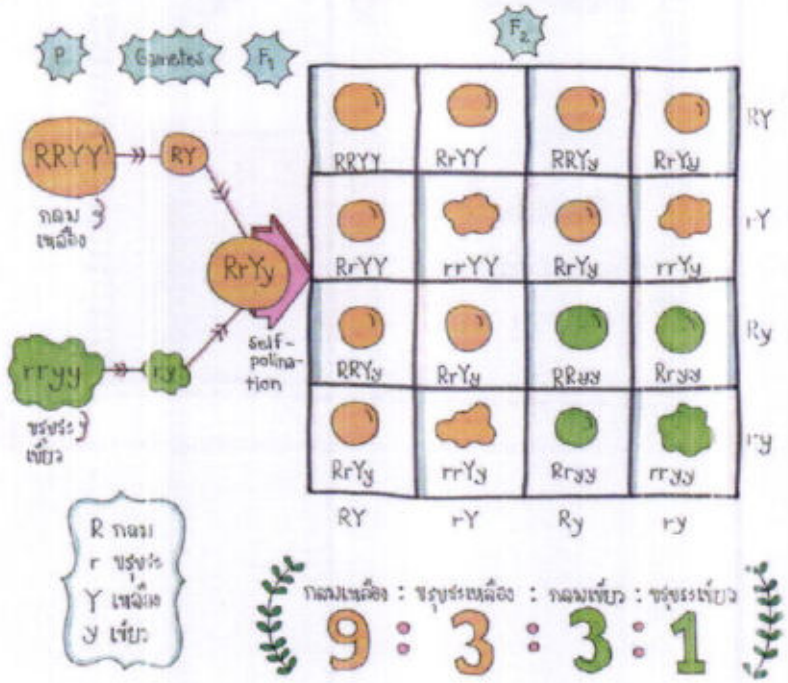
1) กฎแห่งการแยกตัว (Law of Segregation)

- จากการผสมเพื่อสังเกตเพียงลักษณะเดียว (Monohybrid Cross) ของรุ่นพ่อและแม่ที่มีลักษณะแท้
  - >> ซึ่งได้แก่ ฝักเขียวคือเด่นแท้ กับ ฝักเหลืองคือด้อยแท้ ผสมกัน
    - → รุ่นหลาน F_2 จะแสดงลักษณะเด่นต่อลักษณะด้อยในอัตราส่วน 3 : 1 เสมอ
  - >> แสดงว่าระหว่างการสร้างเซลล์สืบพันธุ์นั้นมีการแยกออกของคู่ยีนที่ควบคุมลักษณะเดียวกัน หรือยีนที่เป็นอัลลีลเดียวกัน


MONOHYBRID Cross
พ่อแม่
YY
yy
เซลล์สืบพันธุ์
Y
y
ลูกรุ่น 1
Yy
เซลล์สืบพันธุ์
Y
y
ลูกรุ่น 2
Y
y
Y
y
YY
Yy
Yy
yy
อัตราส่วน
เหลือง : เขียว
= 3 : 1

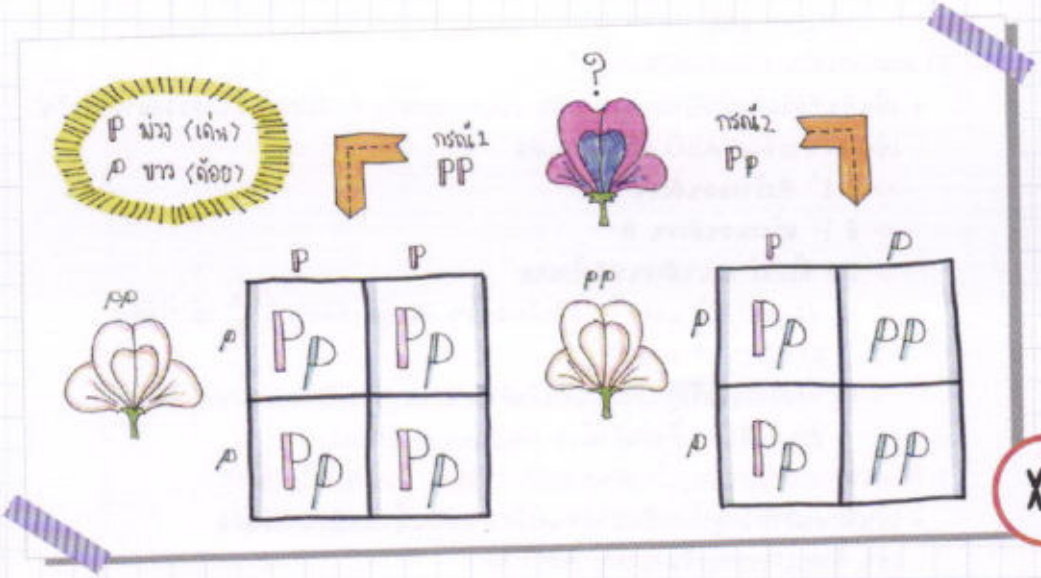
2) กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ (Law of Independent Assortment)

- จากการที่เมนเดลหันมาพิจารณาสองลักษณะ (Dihybrid Cross) โดยสังเกตระหว่างสีและผิวของเมล็ด
  - >> พบว่าในกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์นอกจากการแยกกันของคู่ยีนที่ควบคุมลักษณะเดียวกัน
    - → ยังมีการรวมกลุ่มของยีนที่ควบคุมคนละลักษณะ (ยีนคนละอัลลีล) อยู่รวมกลุ่มกันในเซลล์สืบพันธุ์หนึ่งๆ แบบสุ่ม
    - → ส่งผลทำให้เซลล์สืบพันธุ์ต่างๆ มีความหลากหลาย
- ข้อสังเกต
  - >> ถ้าพ่อและแม่มียีนแบบเฮเทอโรไซกัส (Heterozygous) เหมือนกันทั้งสองลักษณะ เช่น RrYy กับ RrYy
    - → อัตราส่วนรุ่นลูก เด่น-เด่น : เด่น-ด้อย : ด้อย-เด่น : ด้อย-ด้อย จะเท่ากับ 9 : 3 : 3 : 1



การผสมทดสอบ (Test Cross) และ การผสมย้อนกลับ (Back Cross)

- ถ้าอยากรู้ว่าถั่วลันเตาฝักสีเขียวที่เก็บมามีจีโนไทป์เด่นแบบไหน เช่น ถั่ว X มีอัลลีล PP (เขียวแท้) หรือ Pp (เขียวไม่แท้)
  - สามารถใช้การผสมทดสอบ (Test Cross) โดย
    - นำต้นต้องสงสัย (ฝักสีเขียว) ที่มีจีโนไทป์ P (ยังไม่รู้)
      + มาผสมกับต้นที่มีลักษณะด้อย (ฝักสีเหลือง) ที่มีจีโนไทป์ pp แน่ๆ
    - ผลที่ออกมาเป็นไปได้ 2 อย่าง
      >> หนึ่ง ลูกที่ออกมาเป็นฝักสีเขียวทั้งหมด (เด่นทั้งหมด)
      ตัวต้องสงสัยจะมีจีโนไทป์แบบพันธุ์เด่นแท้ PP หรือโฮโมไซกัส โดมิแนนซ์ (Homozygous Dominance)
      >> สอง ลูกที่ออกมาเป็นฝักสีเขียว (เด่น) กับ ฝักสีเหลือง (ด้อย) อัตราส่วน 1 : 1
      ตัวต้องสงสัยจะมีจีโนไทป์แบบเด่นพันธุ์ทาง Pp (Heterozygous)



- ถ้าต้องการคงลักษณะที่ต้องการของพืชหรือสัตว์ไว้
  - ให้ทำการผสมย้อนกลับ (Back Cross) โดยนำ
    - ต้นรุ่นลูก (Filial Generation) ผสมกับรุ่นพ่อแม่ (Parent Generation)
    - การผสมแบบนี้อาจเป็นการผสมทดสอบ (Test Cross) แบบหนึ่งก็ได้
      >> ถ้าพ่อหรือแม่ที่นำไปผสมลูกเป็นโฮโมไซกัส รีเซสซีฟ (Homozygous Recessive) หรือพันธุ์ด้อยแท้ (pp)

4. ลักษณะที่นอกเหนือกฎของเมนเดล

- จากการศึกษายุคหลังเมนเดลพบว่าการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมมีความซับซ้อนมากกว่านั้น บางครั้งการถ่ายทอดลักษณะต่างๆ อยู่นอกเหนือที่เมนเดลได้กล่าวเอาไว้ ดังนี้

1) การข่มไม่สมบูรณ์ (Incomplete Dominance)

- เป็นผลมาจากการที่ลักษณะเด่นไม่มีอิทธิพลในการข่มลักษณะด้อยได้ 100% เช่น ดอกลิ้นมังกรเป็นดอกไม้ที่มี 3 สี คือ สีแดง สีชมพู และสีขาว
  - >> โดยสีแดงเป็นลักษณะเด่น R สีขาวเป็นลักษณะด้อย R' เนื่องจากลักษณะเด่นไม่สามารถข่มลักษณะด้อยได้ทั้งหมด
  - >> เมื่ออัลลีล R และ R' รวมกันจะได้ลักษณะใหม่ที่เกิดขึ้นคือ สีชมพู ที่มีจีโนไทป์เป็น RR'
  - >> อัตราส่วนที่ได้จึงไม่ใช่ เด่น : ด้อย = 3 : 1 แต่เป็น เด่น-เด่น : เด่น-ด้อย : ด้อย-ด้อย หรือ สีแดง : สีชมพู : สีขาว เท่ากับ 1 : 2 : 1 แทน

2) การข่มร่วมกัน (Codominance)

- เป็นยีนที่มีอัลลีลซึ่งมีอิทธิพลพอๆ กัน (Co-dominace Allele) แสดงออกมาพร้อมกัน เช่น ระบบเลือด ABO มีอัลลีล 3 ตัว
  - >> มี I^A ที่สร้างแอนติเจน A
  - >> มี I^B สร้างแอนติเจน B
  - >> มี i ที่ไม่สร้างแอนติเจนชนิดใดเลย
    - → ปรากฏว่า I^A และ I^B มีอิทธิพลพอๆ กัน ผู้คนที่มียีน I^AI^B สร้างได้ทั้งแอนติเจน A และ B
    - → ทั้งสองอัลลีลจึงถูกเรียกว่าเป็นอัลลีลเด่นร่วม (Co-Dominance Allele) ส่วนอัลลีล i เป็นอัลลีลด้อย (Recessive Allele)

3) ลักษณะบางอย่างถูกควบคุมโดยยีนมากกว่า 2 อัลลีล (Multiple Allele)

- เป็นลักษณะที่ควบคุมโดยยีนตำแหน่งเดียว แต่ยีนนั้นต้นมีหลายอัลลีล เช่น ลักษณะของหมู่เลือดระบบ ABO คือ
  - >> มี I^A เป็นยีนที่ควบคุมการสร้างแอนติเจน A บนเยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดง
  - >> มี I^B เป็นยีนที่ควบคุมการสร้างแอนติเจน B บนเยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดง
  - >> มี i เป็นยีนที่ไม่สร้างทั้งแอนติเจน A และ B บนเยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดง
- ที่น่าสนใจ คือ I^A และ I^B มีการข่มร่วมกัน (Codominance) ด้วย
  - >> คือ มีการสร้างแอนติเจน A และ B ไว้ด้วยกันบนผิวเยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดง
- จีโนไทป์ของมัลติเพิลอัลลีล (Multiple Allele) ที่เป็นไปได้ของระบบเลือด ABO เป็นไปตามตารางนี้

จีโนไทป์ (Genotype)	ฟีโนไทป์ (Phenotype)
I^AI^A หรือ I^Ai	สร้างแอนติเจน A, เลือดหมู่ A
I^BI^B หรือ I^Bi	สร้างแอนติเจน B, เลือดหมู่ B
I^AI^B	สร้างแอนติเจนทั้ง A และ B, เลือดหมู่ AB
ii	ไม่มีการสร้างแอนติเจนทั้ง A และ B, เลือดหมู่ O

4) พอลิยีน (Poly Gene)

- เป็นลักษณะที่ยีนหลายๆ ตัวซึ่งอยู่บนตำแหน่งต่างๆ ของโครโมโซมช่วยกันแสดงออกลักษณะบางอย่างออกมา โดยที่มีลักษณะ ดังนี้
  - >> ลักษณะเชิงปริมาณ (Quantitative Trait) โดยยีนที่ควบคุมอาจมีได้ตั้งแต่ 2 - 40 คู่ แต่จะอยู่บนโครโมโซมเดียวกันหรือไม่ก็ได้ เช่น สีผิว ความสูง และสีตา
  - >> ลักษณะเชิงบวกสะสม (Additive Effect) เช่น
    - → ยีนที่ควบคุมสีของเมล็ดข้าวมี 3 ตำแหน่งคือ A B และ C
    - → เมล็ดที่มีสีแดงเข้มเป็นลักษณะเด่นแท้จะมีจีโนไทป์ AABBCC
    - → เมล็ดที่มีสีขาวเป็นด้วยแท้ จะเขียนจีโนไทป์ได้ aabbcc
    - → ถ้านำมาผสมกัน รุ่น F_1 ที่ได้จะมีลักษณะเป็นเฮเทอโรไซกัส (Heterozygous) คือมีจีโนไทป์ AaBbCc
    - → ส่วนรุ่น F_2 จะแดงเข้มมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับปริมาณอัลลีลที่เป็นลักษณะเด่นหรือด้อยมากน้อย เช่น ถ้ามีอัลลีลเด่นมากๆ สีก็จะเข้มขึ้น แต่ถ้ามีอัลลีลด้อยมากกว่าสีก็จะจางลง

5) อีพิสเตซิส (Epistasis)

- เป็นปรากฏการณ์ที่ยีนที่อยู่คนละตำแหน่งโลคัสแสดงอิทธิพลต่อกัน มีทิศทางได้ 2 แบบ ดังนี้
  - >> แบบเสริมสร้างกัน (Complementary Epistasis)
    - → เช่น สีดอกของถั่วชนิดหนึ่งมียีนควบคุม 2 คู่ คือ C และ P
    - → โดยลักษณะเด่นของสีคือสีม่วง และด้อยคือสีขาว
    - → กลไก คือ ถ้าแต่ละยีนขาดยีนเด่นไป เช่น เป็นแบบ ccPP หรือ CCpp หรือ ccpp จะทำให้ดอกมีสีขาว
    - → แตกต่างจากพอลิยีนตรงลักษณะแบบนี้ไม่ใช่การบวกสะสมหรือการแจกแจงความถี่ยีน
    - → ดังนั้นปริมาณยีนเด่นจะไม่ส่งผลต่อความแปรผันของสีที่แสดงออกมา
  - >> แบบรบกวนกันระหว่างโดมินันท์อีพิสเตซิส (Dominant Epistasis) และ

รีเซสซิฟเอพิสเตซิส (Recessive Epistasis)

→ ยีนที่อยู่คนละโลคัสมีการขัดขวางซึ่งกันและกัน
เช่น ยีนสีขนของหนูตะเภา มีอัลลีล C ควบคุมการสร้างเม็ดสีเมลานิน และอัลลีล B ควบคุมการเก็บสะสมสารสี ทำให้หนูมีสีดำ

→ แต่ถ้ายีน C ที่เป็นโฮโมไซกัสรีเซสซิฟ (Homozygous Recessive) cc นั้นมีผลในการขัดขวางการสร้างเก็บสะสมเม็ดสีซึ่งกำหนดโดยยีนตัวที่สอง (อัลลีล B หรือ b)

→ ดังนั้น จะทำให้หนูตัวใดก็ตามที่มียีน cc มีขนเป็นสีขาว

6) พลีโอโทรปี (Pleiotropy)

- เป็นลักษณะที่แสดงออกมาได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของยีนเพียงตัวเดียว เช่น โรคเม็ดเลือดแดงรูปเคียว (Sickle Cell Anemia) ซึ่งจะแสดงออกมาก็ต่อเมื่อยีนเข้าคู่กันเป็นแบบโฮโมไซกัส รีเซสซิฟ (Homozygous Recessive) ส่งผลให้เม็ดเลือดเคลื่อนตัวไม่สะดวก มีการทำลายเซลล์เม็ดเลือดที่ผิดปกติอย่างรวดเร็ว ทำให้เลือดจางอ่อนเพลีย เป็นไข้ และยังส่งผลให้มีอาการเจ็บป่วยต่ออวัยวะต่างๆ ตามมา ไม่ว่าจะเป็นสมอง ไต และหัวใจ รักษาโดยการถ่ายเลือดและไม่สามารถหายขาดได้

7) ลิงก์ยีน (Linked Gene)

- ยีนที่อยู่บนโครโมโซมเดียวกันไม่แยกออกจากกันอย่างอิสระเมื่อแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (Meiosis)
  >> เพราะโลคัสของยีนนั้นอยู่ในตำแหน่งใกล้กันมาก
  >> เราเรียกยีนที่ไปด้วยกันแบบนี้ว่า กลุ่มลิงก์เกจ (Linkage Group)
- แต่ในระยะโพรเฟส (Prophase) ของไมโอซิส 1 มีกระบวนการครอสซิงโอเวอร์ (Crossing over)
  >> ซึ่งก็อาจทำให้ลิงก์เกจนั้นแยกออกจากกันได้ หากโลคัสชิดกันไม่มาก
- จำนวนลิงก์เกจมีเท่ากับจำนวนแฮพลอยด์ โครโมโซม (Haploid Chromosome) ของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ เช่น
  >> มนุษย์มีโครโมโซมทั้งหมด 23 ชุด จึงมีลิงก์เกจทั้งหมด 23 ชุด
- เมื่อเขียนแผนภาพต้องเขียนให้ยีนที่เป็นลิงก์เกจอยู่ด้วยกันเสมอเวลาสร้างเซลล์สืบพันธุ์ เช่น
  >> AaBb X aabb สร้างเซลล์สืบพันธุ์ AB, ab และ ab

8) ยีนบนโครโมโซมเพศ (Sex-liked Gene)

- รูปแบบการถ่ายทอดต่างจากยีนบนโครโมโซมร่างกาย (Autosome) แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่
  >> ยีนบนโครโมโซม X
  → ยีนด้อยบนโครโมโซม X เพศชายมีโอกาสเกิดมากกว่า เพราะมีโครโมโซมเพศ X ตัวเดียว

* ทำให้เมื่อได้รับยีนด้อยเพียงตัวเดียวก็จะแสดงอาการ

→ ส่วนเพศหญิงหากมีลักษณะเป็นพันธุ์ทางก็จะเป็นแค่พาหะที่ไม่แสดงอาการ เช่น

* ตาบอดสี การแพ้ถั่วปากอ้า และโรคฮีโมฟิเลีย (เลือดแข็งตัวช้า)

→ ข้อสังเกต

* ถ้าแม่เป็นพาหะแต่พ่อปกติลูกชายจะมีโอกาสแสดงอาการร้อยละ 50
* ผู้ชายที่มีอาการแต่งงานกับหญิงปกติแบบพันธุ์แท้ลูกชายทุกคนจะปกติส่วนลูกสาวทุกคนจะเป็นพาหะ
* ถ้าพ่อแสดงอาการและแม่เป็นพาหะลูกชายและหญิงทุกคนมีโอกาสแสดงอาการร้อยละ 50
* ยีนเด่นบนโครโมโซม X ผู้หญิงจะมีโอกาสเกิดมากกว่าเพราะไม่ว่าจะพันธุ์แท้หรือพันธุ์ทางก็จะแสดงอาการออกมา เช่น อาการมนุษย์หมาป่า

>> ยีนบนโครโมโซม Y

→ เกิดเฉพาะผู้ชายเท่านั้น

เช่น ลักษณะการมีขนยาวที่ใบหูของชายชาวอินเดีย

9) ลักษณะที่ขึ้นอยู่กับเพศ (Sex-influent Trait)

- เป็นลักษณะของยีนที่ตอบสนองต่อฮอร์โมนเพศ

>> แม้ว่าลักษณะดังกล่าวจะถูกควบคุมผ่านยีนที่อยู่บนโครโมโซมร่างกายก็ตาม
เช่น ลักษณะหัวล้านที่ควบคุมโดยยีน B ผ่านอัลลีล B และ b

>> ในเพศชายลักษณะแบบนี้จะเป็นลักษณะเด่น ทำให้ผู้ชายมีโอกาสหัวล้านมากกว่าผู้หญิง

>> แต่ในเพศหญิงลักษณะนี้เป็นลักษณะด้อย

10) ลักษณะทางพันธุกรรมจำกัดเพศ (Sex-limited Trait)

- เป็นลักษณะจะที่แสดงออกมาได้ต้องขึ้นอยู่กับ

>> เพศสภาวะของสิ่งมีชีวิต

>> การควบคุมผ่านยีนบนโครโมโซมร่างกาย
เช่น ลักษณะขนหางของไก่ การมีหนวดเคราในเพศชาย
ไม่ว่าเพศหญิงจะมีจีโนไทป์แบบใด ฟีโนไทป์ที่แสดงออกมาก็มีได้แค่ลักษณะเดียวเท่านั้น

5. ผลของความผิดปกติบนโครโมโซม

- ทำให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย ซึ่งมีได้หลายแบบ
- อาจเกิดจากโครโมโซมเกินมาทั้งแท่ง หายไปทั้งแท่ง หรือขาดพร่องไปบางส่วนก็ได้
- โดยแบ่งออกเป็น

ความผิดปกติที่เกิดจากโครโมโซมร่างกาย (Autosome)

ชื่อกลุ่มอาการ	โครโมโซมที่ผิดปกติ	ลักษณะที่ปรากฏ
กลุ่มอาการคริดูชาต์ (Cri-Du-Chat Syndrome/ Cat-Cry Syndrome)	คู่ที่ 5 หายไปบางส่วน	ศีรษะเล็ก ใบหน้าค่อนข้างกลม ใบหู อยู่ต่ำกว่าปกติ ปัญญาอ่อน และมีเสียงร้องคล้ายแมว
กลุ่มอาการพาทัว (Patau's Syndrome)	คู่ที่ 13 เกินมา	ศีรษะเล็ก ตาเล็ก ตาทั้งสองข้างห่างกันมาก หรือไม่มีตาเลย ปากแหว่งเพดานโหว่ คอสั้น จมูกโตและแบน ใบหูต่ำ มักมีนิ้วเกิน หัวใจและไตผิดปกติ หูหนวก และมีอาการปัญญาอ่อนร่วมด้วย
กลุ่มอาการเอ็ดเวิร์ด (Edward's Syndrome)	คู่ที่ 18 เกินมา	ศีรษะยาว ท้ายทอยยื่น ใบหน้าใหญ่เป็นเหลี่ยม ตาห่าง ปากแคบ ใบหูต่ำ ผิวหนังตรงหลังคอเป็นแผ่น บางครั้งมีปากแหว่งเพดานโหว่ มีการเกร็งของกล้ามเนื้อทำให้มือกำอยู่ในท่าเฉพาะ คือนิ้วชี้ และนิ้วก้อยเกยทับนิ้วกลางและนิ้วนาง แขนเกร็ง อยู่ในท่างอเข่าขึ้น หัวใจและไตอาจผิดการ อายุสั้นมาก มักเสียชีวิตตั้งแต่ก่อนอายุครบ 1 ขวบ
กลุ่มอาการดาวน์ (Down's Syndrome)	คู่ที่ 21 เกินมา	สมองเล็ก กะโหลกศีรษะกลม ท้ายทอยแบน จมูกเล็ก และแฟบ ช่องปากเล็กทำให้ลิ้นคับปาก ใบหูเล็กและผิดปกติ ตาห่าง หางตาชี้ขึ้นข้างบน นิ้วสั้น ลายมือขาด หัวใจผิดการ และมักเป็นหมัน

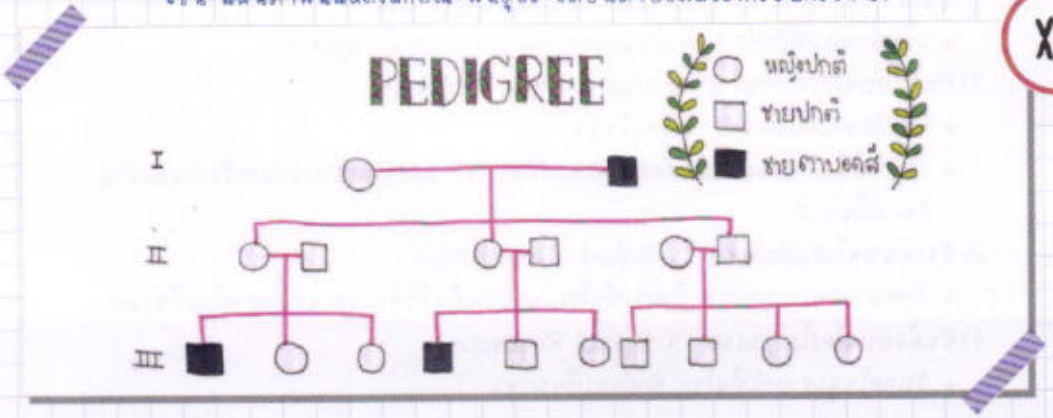
ความผิดปกติที่เกิดจากโครโมโซมเพศ (Sex Chromosome)

ชื่อกลุ่มอาการ	โครโมโซมที่ผิดปกติ	ลักษณะที่ปรากฏ
กลุ่มอาการเทอร์เนอร์ (Turner's Syndrome)	โครโมโซม X หายไป 1 แท่ง	เกิดในเพศหญิง เตี้ย ไม่มีประจำเดือน มดลูกและรังไข่เล็ก เป็นหมัน เต้านมเล็ก และมักปัญญาอ่อน
กลุ่มอาการไคลน์เฟลเตอร์ (Klinefelter's Syndrome)	โครโมโซม X เกินมาในชาย	เกิดในเพศชาย มีทรวงอกคล้ายผู้หญิง อวัยวะเพศมีขนาดเล็ก อัณฑะไม่สร้างอสุจิ ทำให้เป็นหมัน สูงและอ้วน มักปัญญาอ่อน
กลุ่มอาการทริปเปิลเอ็กซ์ (Triple X Syndrome)	โครโมโซม X 3 แท่งในหญิง	เกิดในเพศหญิง ไม่มีประจำเดือน เป็นหมัน รังไข่ฝ่อ ไม่สร้างไข่ และปัญญาอ่อน
กลุ่มอาการดับเบิลวาย (Double Y Syndrome)	โครโมโซม Y เกินมาในชาย	เกิดในเพศชาย รูปร่างสูงใหญ่ อารมณ์ร้อน หุนหันพลันแล่น และปัญญาอ่อน

6. พงศาวลี (Pedigree)

- เป็นการศึกษาประวัติทางพันธุกรรมจากหลายๆ รุ่นโดยนำข้อมูลมาเขียนเป็นแผนผังแสดงลักษณะ
  >> เพื่อทำนายความผิดปกติหรือโรคทางพันธุกรรม หรือใช้วางแผนครอบครัว

เช่น แผนภาพนี้แสดงลักษณะพันธุประวัติยีนตาบอดสีของครอบครัวหนึ่ง



โครงสร้างของแผนผัง

วิธีที่ใช้ในการตรวจสอบเบื้องต้น

ทำได้โดยการตรวจสอบ ดังนี้

1) ยีนเด่นบนโครโมโซมร่างกาย (Autosomal Dominance)
   - เป็นลักษณะที่มักปรากฏทุกรุ่นและบางทีจะส่งต่อจากพ่อไปสู่ลูกชาย
2) ยีนด้อยบนโครโมโซมร่างกาย (Autosomal Recessive)
   - เป็นลักษณะที่มักจะปรากฏรุ่นเว้นรุ่น
   - ถ้าลูกเป็นแต่พ่อแม่ปกติแสดงว่าพ่อแม่เป็นพาหะ และจะแสดงออกมากขึ้นถ้าแต่งงานกันเองในญาติ
3) ยีนเด่นบนโครโมโซมเพศ (X-linked Dominance)
   - ลักษณะจะปรากฏทุกรุ่น ถ้าพ่อเป็นโรค ลูกสาวเป็นด้วยเสมอ แต่ลูกชายไม่เป็นเลย
4) ยีนด้อยบนโครโมโซมเพศ (X-linked Recessive)
   - สังเกตในลูกชายที่เป็นโรค มักมีแม่เป็นพาหะ

7. สูตรการคำนวณทางพันธุศาสตร์ที่น่าสนใจ

- ถ้ายีนที่โจทย์ให้มาเป็นแบบเฮเทอโรไซกัส Heterozygous ทั้งพ่อและแม่ จำนวน n คู่ แล้วมีการถ่ายทอดลักษณะตามกฎเมนเดล
  - เราสามารถคำนวณได้ดังนี้
    - รูปแบบเซลล์สืบพันธุ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด = 2^n แบบ
    - ลูกจะมีจีโนไทป์ต่างกัน = 3^n แบบ
    - ลูกจะมีฟีโนไทป์ต่างกัน = 2^n แบบ
- สูตรหาจีโนไทป์ของมัลติเพิลอัลลีล เช่น หมู่เลือด ABO
  - คือ $n(n+1)/2$ โดยที่ n คือจำนวนอัลลีล
- กรณีที่พ่อและแม่มีลักษณะโฮโมไซกัส Homozygous คนละแบบ
  - เช่น AABB กับ aabb สามารถหาจำนวนจีโนไทป์และฟีโนไทป์ที่เป็นไปได้ของรุ่น F_2 ดังนี้
    - จำนวนจีโนไทป์ = 3^n
    - จำนวนฟีโนไทป์ = $2n+1$
    - โดยที่ n คือจำนวนคู่ของยีน
  - โอกาสที่ลูกจะมียีนเหมือนพ่อและแม่ที่เป็นโฮโมไซกัส Homozygous ทั้งคู่
    - เท่ากับ $(1/4)^n$ เมื่อ n เป็นจำนวนคู่ยีน

8. กรดนิวคลีอิก (Nucleic Acid)

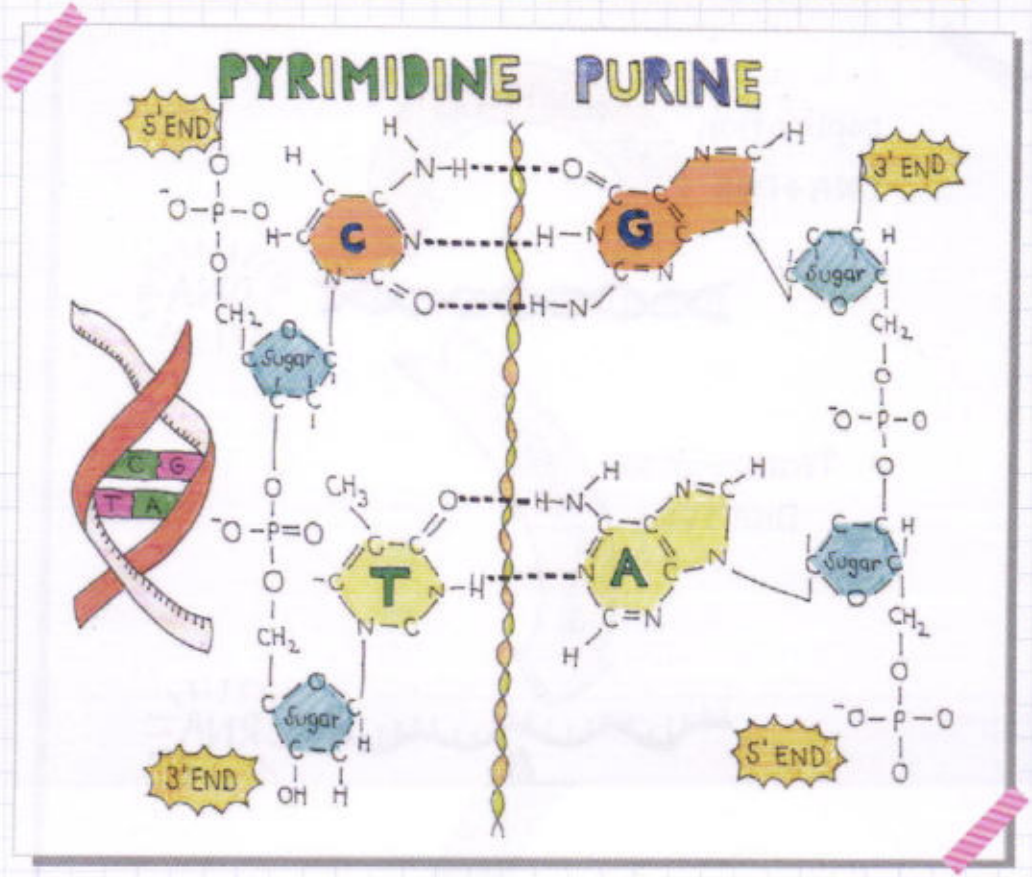
- เฟรดริช มิชเชอร์ (Friedrich Miescher) นักชีวเคมีชาวสวีเดน ได้ค้นพบจากนิวเคลียสของเซลล์หนอง
  - เมื่อตรวจสอบสมบัติทางกายภาพดู พบว่ามีความเป็นกรด
  - จึงตั้งชื่อว่ากรดจากนิวเคลียส หรือ กรดนิวคลีอิก (Nucleic Acid)
- กรดนิวคลีอิกมีหน่วยย่อยเรียกว่า นิวคลีโอไทด์ (Nucleotide) ที่เชื่อมกันด้วย
  - พันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์ (Phosphodiester Bond)
  - ที่ตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl Group) ของคาร์บอนที่ 3 ของน้ำตาลเพนโทส (Pentose Sugar) กับหมู่ฟอสเฟต (Phosphate Group) ของคาร์บอนตำแหน่งที่ 5
- เมื่อเชื่อมต่อกันหลายๆ นิวคลีโอไทด์จะเรียกว่า พอลินิวคลีโอไทด์ (Polynucleotide)
- แต่ละนิวคลีโอไทด์ ประกอบด้วย

- ไนโตรจีนัสเบส (Nitrogenous base) มี 2 พวกคือ
  - พิวรีน (Purine) โครงสร้างเป็นวง 2 วง ได้แก่
    - >> เบสอะดีนีน (Adenine หรือ A)
    - >> เบสกัวนีน (Guanine หรือ G)
  - ไพริมิดีน (Pyrimidine) โครงสร้างเป็นวงเดี่ยว ได้แก่
    - >> เบสไซโทซีน (Cytosine หรือ C)
    - >> เบสไทมีน (Thymine หรือ T)
    - >> เบสยูราซิล (Uracil หรือ U)
- น้ำตาลเพนโทส (Pentose Sugar) มี 2 ชนิด ได้แก่
  - น้ำตาลไรโบส (Ribose Sugar) มีสูตรโมเลกุล คือ $C_5H_{10}O_5$
  - น้ำตาลดีออกซีไรโบส (Deoxyribose Sugar) มีสูตรโมเลกุล คือ $C_5H_{10}O_4$
- หมู่ฟอสเฟต (Phosphate Group)

○ ชนิดของกรดนิวคลีอิก แบ่งตามชนิดของน้ำตาล ดังนี้

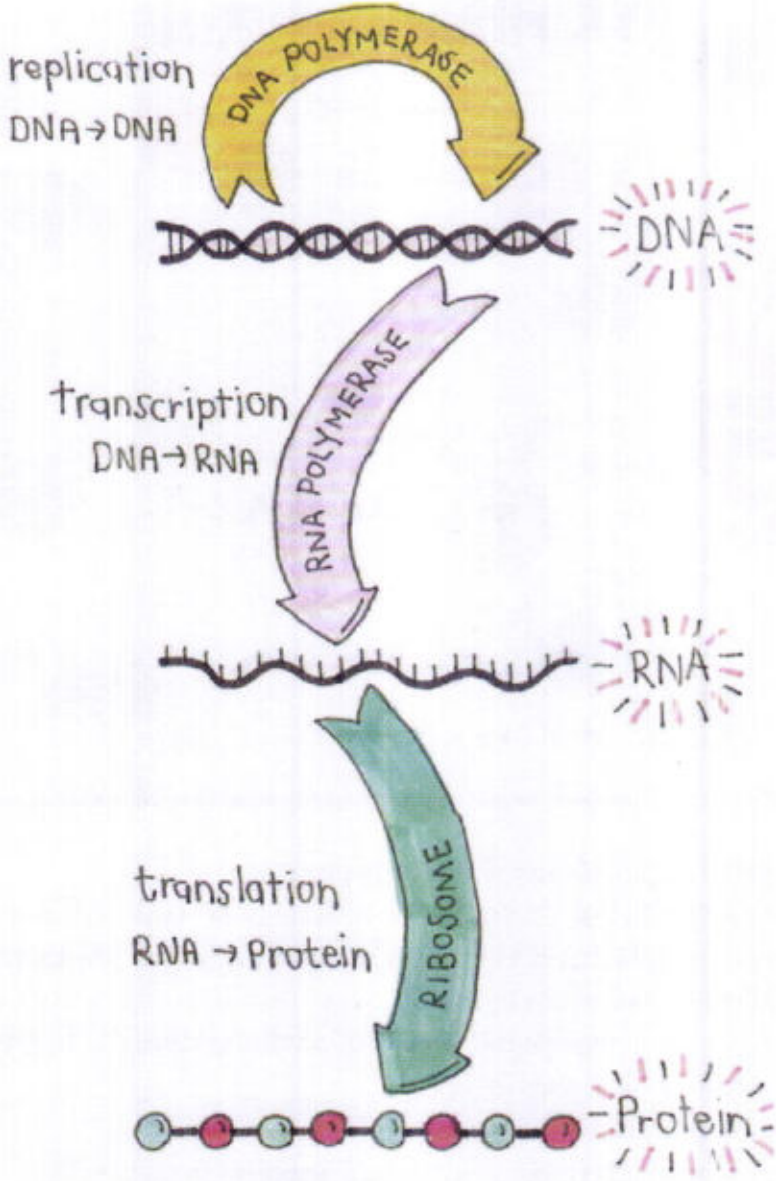
- อาร์เอ็นเอ (RNA) หรือกรดไรโบนิวคลีอิก (Ribonucleic Acid)
  - ไนโตรจีนัสเบสที่ใช้ คือ A U C และ G
  - ชนิดน้ำตาลเพนโทส คือ น้ำตาลไรโบส (Ribose Sugar หรือ $C_5H_{10}O_5$)
  - โครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบสายเดี่ยว (Single Polynucleotide)
  - ทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีน
- ดีเอ็นเอ (DNA) หรือกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (Deoxyribonucleic Acid)
  - ไนโตรจีนัสเบสที่ใช้ คือ A T C และ G
  - ชนิดน้ำตาลเพนโทส คือ น้ำตาลดีออกซีไรโบส (Deoxyribose Sugar หรือ $C_5H_{10}O_4$)
  - โครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบสายบิดคู่ คล้ายบันไดเวียนขวา (Double Polynu cleotide / Double Helix)
  - ทำหน้าที่เป็นสารพันธุกรรม และเป็นแม่แบบในการสังเคราะห์โปรตีน

๑. โครงสร้างของกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (DNA)



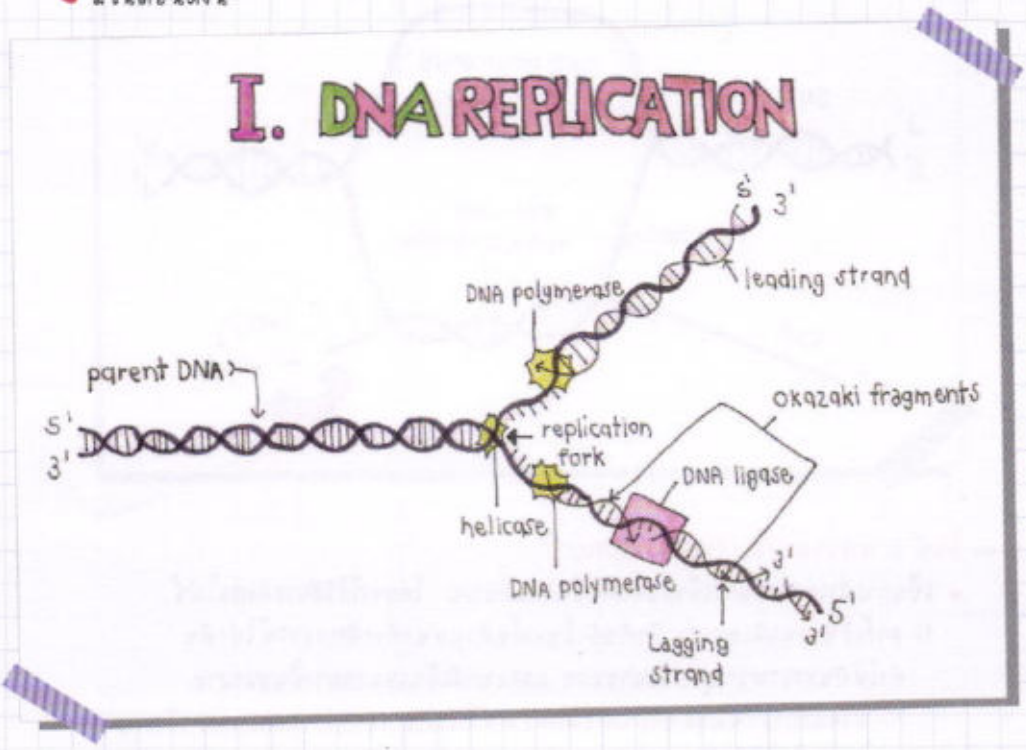
- มีรูปร่างโมเลกุลเป็นลักษณะคล้ายบันไดเวียนขวา
- สายพอลินิวคลีโอไทด์ (Polynucleotide) ทั้งสองสายยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ระหว่างไนโตรจีนัสเบสที่หันหน้าเข้าภายในเพราะเป็นแบบกลัวน้ำ (Hydrophobic) ทำให้มีลักษณะคล้ายขั้นบันได โดยที่
  >> เบส A ทำพันธะคู่กับเบส T ใน DNA และทำพันธะกับเบส U ใน RNA
  >> ส่วนเบส G ทำพันธะคู่กับเบส C
- ส่วนที่หมู่ฟอสเฟตและน้ำตาลเพนโทสหันออกภายนอก
  >> เพราะมีลักษณะชอบน้ำ (Hydrophilic) ทำให้มีรูปร่างเหมือนราวบันได
- ทั้งสองสายมีลักษณะกลับทิศทางหัวท้ายเป็นแบบสวนทางกัน (Antiparallel)
- มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 อังสตรอม ระยะห่างแต่ละคู่เบสประมาณ 3.4 อังสตรอม

10. เซนทรัล ดือกมา (The Central Dogma)



เป็นกลไกการทำงานของสารพันธุกรรม

- เริ่มต้นจากการถอดรหัสสารพันธุกรรมกระทั่งสังเคราะห์โปรตีนออกมาเพื่อใช้ประโยชน์ตามชนิดของเซลล์
- มีขั้นตอนดังนี้



– ขั้นที่ 1 การจำลองดีเอ็นเอ (DNA replication)

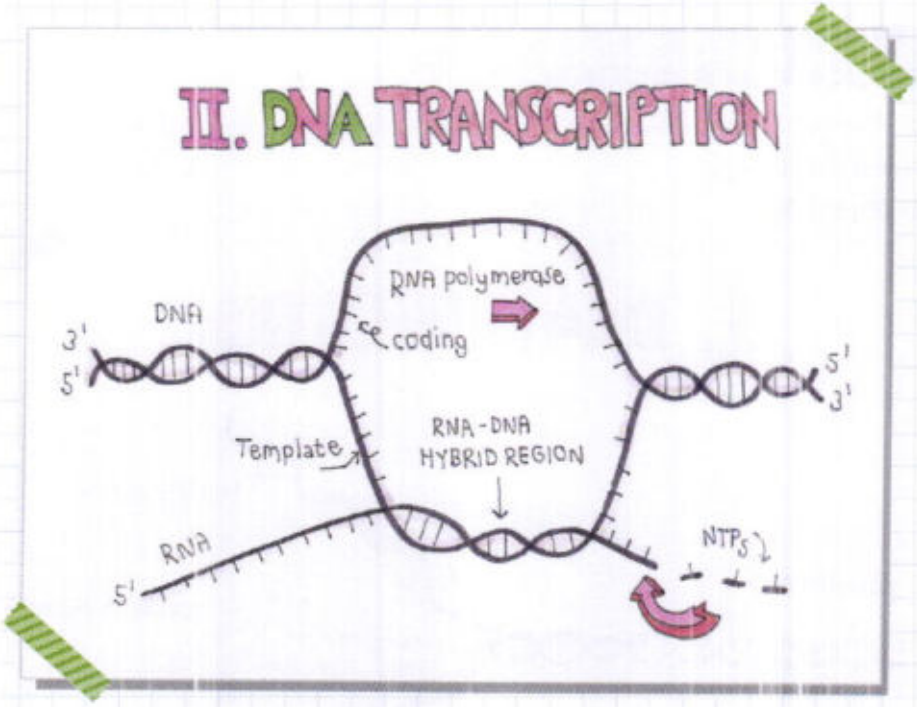
- ตัดพันธะไฮโดรเจนระหว่างไนโตรจีนัสเบสของสายพอลินิวคลีโอไทด์
- โดยใช้เอนไซม์เฮลิเคส (Helicase) ทำให้ได้สายแม่แบบสองสาย ได้แก่

>> สายที่มีปลาย 3'

→ จะทำการสังเคราะห์ดีเอ็นเอขึ้นมาใหม่ โดยอาศัยเอนไซม์ดีเอ็นเอพอลิเมอเรสโดยเริ่มต้นสังเคราะห์จากด้าน 5' ไล่ไปจนถึงปลายสาย 3'

>> สายที่มีปลาย 5'

→ จะสังเคราะห์ดีเอ็นเอ จากปลาย 5' ไม่ได้ จึงมุดเข้าไปสังเคราะห์ดีเอ็นเอทางด้านที่เป็น 3' ซึ่งการสังเคราะห์แบบนี้ทำให้สายใหม่ที่เกิดขึ้นไม่ต่อเนื่อง สายดีเอ็นเอใหม่ที่ได้มีลักษณะเป็นสายสั้นๆ เรียกว่าสายโอกาซากิ (Okazaki Fragment)



- ขั้นที่ 2 การถอดรหัส (Transcription)
  - เป็นการสังเคราะห์อาร์เอ็นเอจากดีเอ็นเอแม่แบบ โดยจะใช้วิธีการดังต่อไปนี้
    1) อาร์เอ็นเอพอลิเมอเรส จับกับดีเอ็นเอในตำแหน่งที่จะสังเคราะห์โปรตีน ทำให้พันธะระหว่างคู่เบสคลายออก และแยกดีเอ็นเอออกมาเป็นสองสาย
       >> สายแรกที่เป็นแม่แบบในการสังเคราะห์โปรตีน เรียกว่า เทมเพลต (Template)
       >> อีกสายไม่ได้ใช้ในการสังเคราะห์ เรียกว่า โค้ดดิ้ง (Coding)
    2) การสังเคราะห์สายอาร์เอ็นเอจะเริ่มสวนทางกับดีเอ็นเอแม่แบบ
       >> คือเริ่มจากปลาย 5' ไปสิ้นสุดที่ปลาย 3' ด้วยการเชื่อมไรโบนิวคลีโอไทด์อิสระด้วยการนำเบสแต่ละตัวมาเข้าคู่กับดีเอ็นเอแม่แบบ
       >> โดยที่ เบส A คู่กับ U และเบส G คู่กับ C
       >> และมี RNA polymerase ในการช่วยต่อสายให้ยาวขึ้น
    3) การถอดรหัสดำเนินการไปจนกระทั่งถึงรหัสหยุด เอนไซม์อาร์เอ็นเอพอลิเมอเรสจะหยุดทำงาน
       >> สายอาร์เอ็นเอที่สังเคราะห์ขึ้นมาใหม่จะหลุดออกจากสายดีเอ็นเอแม่แบบและลอยออกไปยังไซโตพลาสซึมผ่านนิวเคลียร์พอร์
       >> ในขณะที่สายดีเอ็นเอส่วนเทมเพลตและโค้ดดิ้งนั้นจะกลับมาเชื่อมต่อกันใหม่และขดเป็นเกลียวอีกครั้งด้วยพันธะไฮโดรเจน

— ลักษณะของอาร์เอ็นเอแบบต่างๆ มีดังนี้

1) เมสเซนเจอร์อาร์เอ็นเอ (Messenger RNA) หรือ mRNA

>> ทำหน้าที่นำคำสั่งที่ได้จากการถอดรหัสจากดีเอ็นเอมาสร้างโปรตีนต่างๆ โดยใช้รหัสทางพันธุกรรมที่ประกอบไปด้วยนิวคลีโอไทด์เรียงต่อกัน 3 โมเลกุล เรียกว่า โคดอน (Codon)

2) ทรานส์เฟอร์อาร์เอ็นเอ (Transfer RNA) หรือ tRNA

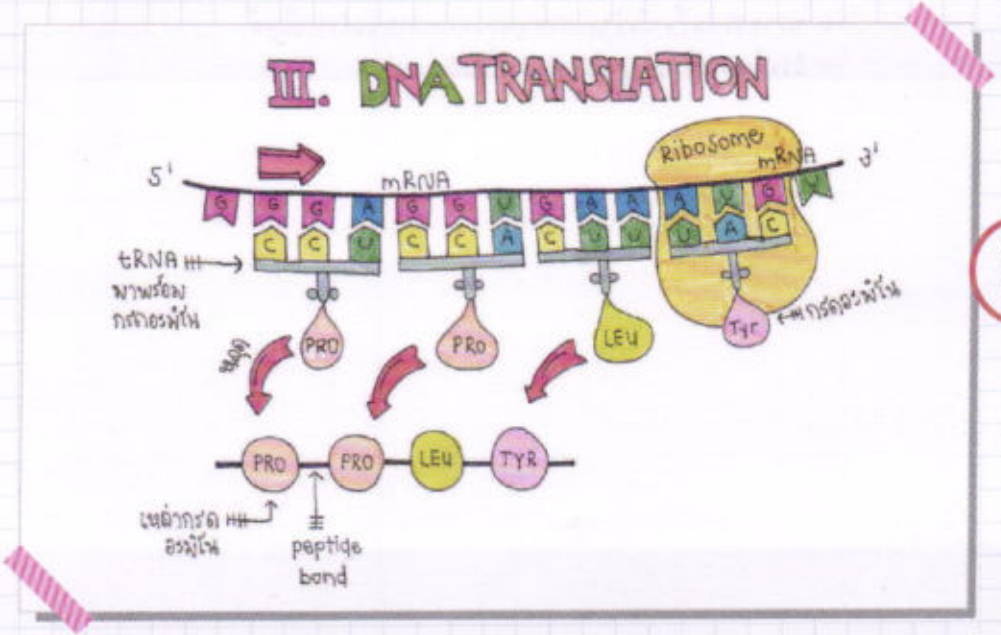
>> ทำหน้าที่เชื่อมต่อกรดอะมิโนแต่ละตัวเข้าด้วยกันบนไรโบโซมจนกลายเป็นสายพอลิเพปไทด์สายยาว โดยการเชื่อมนั้นอ้างอิงรหัสจากลำดับของสายเมสเซนเจอร์อาร์เอ็นเอ

3) ไรโบโซมอลอาร์เอ็นเอ (Ribosomal RNA) หรือ rRNA

>> ทำหน้าที่ช่วยเมสเซนเจอร์อาร์เอ็นเอและทรานส์เฟอร์อาร์เอ็นเอสังเคราะห์โปรตีน โดยทำงานร่วมกับโปรตีนในไรโบโซม ซึ่งเมื่อมีการสังเคราะห์โปรตีนเกิดขึ้น จะมีไรโบโซม 2 หน่วยย่อยมาประกบกัน

>> โดยขนาดของไรโบโซมจะขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์

- ถ้าเป็นพวกยูแคริโอต จะมีขนาด
  - หน่วยใหญ่ 60s
  - หน่วยเล็ก 40s
- ถ้าเป็นพวกโพรแคริโอต จะมีขนาด
  - หน่วยใหญ่ 50s
  - หน่วยเล็ก 30s



- ขั้นที่ 3 การแปลรหัส (Translation)
  - เมื่อเมสเซนเจอร์อาร์เอ็นเอเข้าสู่ไซโตพลาสซึมจะสังเคราะห์โปรตีนร่วมกับทรานสเฟอร์อาร์เอ็นเอและไรโบโซม โดยมีขั้นตอนดังนี้
    1) หน่วยย่อยขนาดเล็กของไรโบโซมเข้ามาจับเมสเซนเจอร์อาร์เอ็นเอที่ด้าน 5'
    2) จากนั้นทรานสเฟอร์อาร์เอ็นเอนำรหัส f-MET มาจับกับเมสเซนเจอร์อาร์เอ็นเอที่จุดสตาร์ตโคดอน (รหัส AUG)
    3) ไรโบโซมหน่วยใหญ่จะเข้ามาจับกับหน่วยเล็ก และทรานสเฟอร์อาร์เอ็นเอเมื่อเริ่มการสังเคราะห์
  - การต่อสาย
    >> ทรานสเฟอร์อาร์เอ็นเอทำการต่อสายต่อจากรหัสเริ่มต้นด้วยแอนติโคดอน (Anticodon) ให้เข้าคู่กับโคดอนบนเมสเซนเจอร์อาร์เอ็นเอ
    >> เชื่อมกรดอะมิโนตัวแรกกับตัวที่สองด้วยพันธะเพปไทด์ และเชื่อมกรดอะมิโนแบบนี้ต่อไปเรื่อยๆ
    >> จะได้เป็นสายพอลิเพปไทด์ ในขณะที่ไรโบโซมทั้งสองหน่วยก็เคลื่อนที่ไปตามทิศทางการสังเคราะห์จากปลาย 5' ไปปลาย 3'
  - สิ้นสุดการสังเคราะห์
    >> เมื่อไรโบโซมเคลื่อนตัวไปยังบริเวณที่มีรหัสหยุด (Stop codon) บนสายเมสเซนเจอร์อาร์เอ็นเอ (ประกอบด้วยรหัส UAA UAG UGA) จะทำให้การแปลรหัสสิ้นสุดลง
      → ไรโบโซมทั้งสองหน่วยจะแยกออกจากเมสเซนเจอร์อาร์เอ็นเอ
      → ทรานสเฟอร์อาร์เอ็นเอจะหลุดออกจากสายพอลิเพปไทด์
      → ถือเป็นการสิ้นสุดการสังเคราะห์โปรตีน

บทที่ 23
อนุกรมวิธาน

1. ภาพรวม

เป็นวิชาที่เกี่ยวกับการจัดหมวดหมู่ของสิ่งมีชีวิต

ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่

- การจัดจำแนก (Classification)

  สามารถจัดจำแนกว่าสิ่งมีชีวิตนั้นอยู่ในลำดับขั้นใดโดยเรียงจากใหญ่สุดไปหาเล็กสุด ดังนี้

Domain	Kingdom	Phylum	Class	Order	Family	Genus	Spicies
โดเมน	อาณาจักร	ไฟลัม	ชั้น	อันดับ	วงศ์	สกุล	ชนิด

ในพืชจะเรียกว่า ดิวิชัน (Division)

กลุ่มใหญ่ → กลุ่มเล็ก

มีด้วยกัน 2 รูปแบบ ดังนี้

1) การจัดกลุ่มแบบผิวเผิน (Artificial Classification)
   - เป็นการดูเพียงโครงสร้างที่มองเห็นได้ง่าย แล้วเหมารวมว่าเป็นพวกเดียวกัน เช่น หมึกกับปลามีครีบ ว่ายน้ำได้เหมือนกัน ก็เหมารวมว่าเป็นกลุ่มเดียวกัน ซึ่งอาจจะถูกหรือไม่ก็ได้
   - วิธีนี้ความแม่นยำมีไม่มาก ได้แค่ความรวดเร็ว
2) การจัดกลุ่มตามธรรมชาติ (Natural Classification)
   - เป็นการอาศัยความรู้ทางด้านสาขาวิวัฒนาการ โดยดูจาก
     >> ลำดับการวิวัฒนาการ (Phylogeny) เป็นหลัก
     >> ใช้สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สายอื่นมาสนับสนุนด้วย
     เช่น การใช้ความรู้ทางด้านบรรพชีวินวิทยา โดยใช้วิธีหาครึ่งชีวิตของธาตุคาร์บอน อะตอม 13 เพื่อทราบช่วงอายุของซากดึกดำบรรพ์
     >> หรือการใช้ความรู้ทางด้านกายวิภาคศาสตร์ ในการจัดจำแนกโครงสร้างทางร่างกาย เช่น

>> โครงสร้างบางอย่างของสิ่งมีชีวิตต่างชนิดมีจุดกำเนิดเดียวกัน แต่หน้าที่อาจเหมือนหรือต่างกัน

- เรียกว่า โครงสร้างโฮโมโลกัส (Homologous Structure)

>> แต่บางอย่างมีลักษณะของจุดกำเนิดอวัยวะต่างกัน แต่กลับใช้ทำหน้าที่เดียวกัน

- เรียกว่า โครงสร้างแอนาโลกัส (Analogous Structure)
  เช่น ปีกไก่ กับปีกแมลงซึ่งต่างก็ใช้บินเหมือนกัน ทั้งที่โครงสร้างไม่เหมือนกันเลย

- นอกจากนี้ยังใช้ศาสตร์อื่นๆ มาสนับสนุนได้อีก เช่น การสังเกตพฤติกรรม ถิ่นที่อยู่ และระยะเอ็มบริโอ

การตั้งชื่อให้สิ่งมีชีวิต (Nomenclature)

— แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) ชื่อสามัญ (Common Name)

- เป็นชื่อเรียกที่ไม่เป็นทางการ และจะแตกต่างกันไปในแต่ละท้องที่

2) ชื่อวิทยาศาสตร์ (Scientific Name)

- เพื่อให้คนทั้งโลกเข้าใจตรงกันว่าการเรียกชื่อสิ่งนี้หมายถึง ตัวอะไร มีหน้าตาและคุณสมบัติอย่างไร
- มีแบบแผนที่ชัดเจน เรียกว่า ระบบทวินาม (Binomial system)
  >> โดยคาโรลัส ลินเนียส (Carolus Linnaeus) นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน
- การตั้งชื่อในระบบทวินาม ประกอบด้วย 2 ส่วน ที่เป็นภาษาละติน ดังนี้
  >> ชื่อสกุล (Generic Name) เขียนตัวอักษรแรกด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ เช่น Homo หรือ *Homo*
  >> ชื่อชนิด (Specific Epithet) เขียนตัวอักษรแรกด้วยตัวพิมพ์เล็ก เช่น sapiens หรือ *sapiens*
  → ทั้งชื่อสกุล และชื่อชนิด จะใช้การขีดเส้นใต้แยกกันทั้งสองชื่อ หรือจะใช้ตัวเอียงทั้งสองชื่ออย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น เช่น Homo sapiens หรือ *Homo sapiens*
  → อาจมีนามผู้ตั้งชื่อ และ ปี ค.ศ. ที่ตั้งชื่อต่อท้ายก็ได้ แต่เขียนด้วยตัวตรงไม่ขีดเส้นใต้ เช่น *Homo sapiens* Linnaeus 1730

การระบุชนิด (Identification)

- เมื่อดูว่าสิ่งมีชีวิตที่จะจำแนกอยู่ในหมวดหมู่ไหน จำเป็นต้องทำการระบุชนิดก่อน
- โดยการใช้วิธีไดโคโตมัสคีย์ (Dichotomous Key) ในการแยกย่อยลักษณะออกมา
  >> ข้อคำถามของไดโคโตมัสคีย์ (Dichotomous Key) จะเป็นการถามว่ามีหรือไม่มี เช่น มีหรือไม่มีนิวเคลียส เซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ เป็นต้น
  >> การถามแบบนี้จะถามเพื่อคัดลักษณะที่ไม่เกี่ยวข้องออก และได้ลักษณะที่เจาะจงในแต่ละชนิดขึ้นมา

โดยสามารถจำแนกสิ่งมีชีวิต ออกเป็น 5 อาณาจักรใน 3 โดเมน ดังนี้

1) โดเมนยูแคริโอต (Domain Eukaryote)
- เป็นสิ่งมีชีวิตที่เป็นยูแคริโอติกเซลล์ หรือพวกยูแคริโอต (Eukaryotic Cell หรือ Eukaryote) ทั้งหมด
- ประกอบด้วย 4 อาณาจักร ได้แก่
  >> อาณาจักรโพรทิสตา (Kingdom Protista) >> ได้แก่ โพรโทซัว สาร่าย และราเมือก
  >> อาณาจักรฟังไจ (Kingdom Fungi) >> ได้แก่ เห็ด รา และยีสต์
  >> อาณาจักรพืช (Kingdom Plantae) >> ได้แก่ พืช
  >> อาณาจักรสัตว์ (Kingdom Animalia) >> ได้แก่ สัตว์

2) โดเมนอาร์เคีย (Domain Archaea) และ 3) โดเมนแบคทีเรีย (Domain Bacteria)
- เป็นสิ่งมีชีวิตที่เป็นโพรแคริโอติกเซลล์ หรือพวกโพรแคริโอต (Prokaryotic Cell หรือ Prokaryote) ทั้งหมด
- ประกอบด้วย 1 อาณาจักร คือ อาณาจักรมอเนอรา (Kingdom Monera) ซึ่งได้แก่
  >> แบคทีเรียโบราณ >> ถ้าอยู่ในโดเมนอาร์เคีย
  >> แบคทีเรียจำพวกไซยาโนแบคทีเรีย (Cyanobacteria) >> ถ้าอยู่ในโดเมนแบคทีเรีย

2. อาณาจักรมอเนอรา (Kingdom Monera)

ภาพรวม

- เป็นโพรแคริโอติกเซลล์ หรือพวกโพรแคริโอต (Prokaryotic Cell หรือ Prokaryote) เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่มีขนาดเล็กมากๆ
- มีรูปร่างหลากหลาย เช่น รูปทรงเกลียว (Spirillum) ทรงกลม (Coccus) รูปทรงท่อน (Bacillus)
- บางชนิดอาจสร้างแคปซูล (Capsule) มาหุ้ม และสร้างสปอร์ (Endospore) แต่ไม่จัดเป็นการสืบพันธุ์
  - เพราะไม่ได้มีการเพิ่มปริมาณของแบคทีเรีย
- มีทั้งที่เป็นผู้ผลิต (Autotroph) ผู้บริโภค (Consumer) และผู้ย่อยสลายอินทรีย์สาร (Decomposer)
- มีความหลากหลายของกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี หรือเมตาบอลิซึม (Metabolism) ในร่างกายสูงมาก

แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

— อาร์เคียแบคทีเรีย (Archaebacteria)

- เป็นสิ่งมีชีวิตทั้งหมดในโดเมนอาร์เคีย (Domain Archaea) ซึ่งเป็นแบคทีเรียโบราณ
- ที่ผนังเซลล์ไม่มีเพปทิโดไกลแคน (Peptidoglycan)
- สามารถอาศัยอยู่ในบริเวณที่สิ่งมีชีวิตอื่นไม่สามารถอาศัยอยู่ได้
- แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1) ยูริอาร์เคียโอตา (Euryarchaeota) >> เป็นกลุ่มที่ชอบความเค็มจัดและสร้างมีเทน

2) ครีนาร์เคียโอตา (Crenarchaeota) >> เป็นกลุ่มที่ชอบอุณหภูมิสูงและความเป็นกรดจัด

— ยูแบคทีเรีย (Eubacteria)

- เป็นสิ่งมีชีวิตทั้งหมดในโดเมนแบคทีเรีย (Domain Bacteria)
- มีผนังเซลล์ที่เป็นเพปทิโดไกลแคน (Peptidoglycan)
- ย้อมติดสี สามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1) ยูแบคทีเรียแกรมบวก

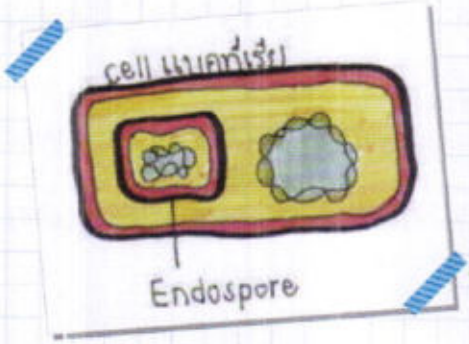
→ ย้อมติดสีม่วงของคริสตัลไวโอเลต (Crystal Violet)

>> พบทั่วไปทั้งในดิน และในอากาศ

>> บางชนิดสามารถ

* นำไปทำยาปฏิชีวนะ เช่น
  - สเตรปโตมัยซีส (Streptomyces) เช่น ยาสเตรปโตมัยซิน (Streptomycin) สำหรับรักษาวัณโรค

* บางชนิดผลิตกรดแลคติก เช่น
  - แล็กโทบาซิลลัส (Lactobacillus) สำหรับทำโยเกิร์ต นมเปรี้ยว ผักดองบางชนิด
* สร้างเอนโดสปอร์ (Endospore) ที่เป็นโครงสร้างสำหรับทำให้มีความทนทานขึ้น เช่น
  - บาซิลลัส แอนทราซิส (Bacillus Anthracis) ที่ทำให้เกิดโรคโรคแอนแทรกซ์
  - บาซิลลัส ซีเรียส (Bacillus Cereus) ที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ



นอกจากนี้ยังมี

>> ไมโคพลาสมา (Mycoplasma) เป็นจุลแบคทีเรียแกรมบวกอีกกลุ่มหนึ่ง

* มีขนาดเล็กที่สุด เพราะมีแค่เยื่อหุ้มเซลล์ที่เป็นชั้นไขมันเท่านั้น ไม่มีผนังเซลล์
* บางชนิดไม่มีอันตรายเพราะไม่ต้องเติบโตและสืบพันธุ์ในเซลล์ผู้ถูกอาศัย
* แต่บางชนิดก็อาจเป็นสาเหตุให้เกิดโรคปอดบวมในมนุษย์และวัว

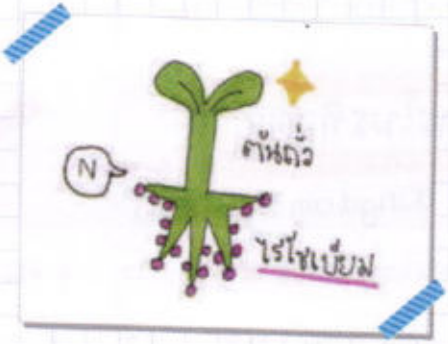
2) จุลแบคทีเรียแกรมลบ

→ ย้อมติดสีม่วงแดงของซาฟรานิน (Safranin) ได้แก่

>> โพรทีโอแบคทีเรีย (Proteobacteria)

* พบได้มากที่สุด
* มีวิธีการดำรงชีวิตที่หลากหลาย เช่น
  - สังเคราะห์ด้วยแสงเหมือนกับพืชปกติ
  - สังเคราะห์ด้วยแสงแล้วได้ออกมาเป็นซัลเฟอร์ หรือก๊าซก๊าซ

  เช่น เพอเพิลซัลเฟอร์แบคทีเรีย (Purple Sulfur Bacteria)
* รวมถึงช่วยตรึงก๊าซไนโตรเจนในอากาศ เพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตของพืช เช่น ไรโซเบียม (Rhizobium) ในปมรากของพืชตระกูลถั่ว

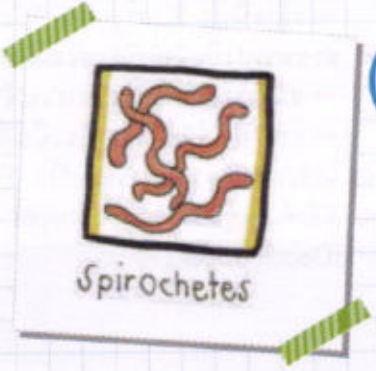


>> คลามีเดีย (Chlamydia)

→ เป็นปรสิต ที่ทำให้เกิดโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ เช่น เชื้อโกโนเรียหรือเชื้อหนองใน

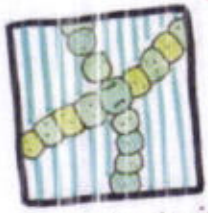
>> สไปโรคีท (Spirochete)

→ รูปร่างเป็นทรงเกลียว มีทั้งที่อยู่ตามอิสระและที่ทำให้เกิดโรค เช่น โรคซิฟิลิส โรคฉี่หนู



>> ไซยาโนแบคทีเรีย (Cyanobacteria) หรือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue-Green Algae)

* เป็นผู้ผลิตที่สำคัญ เพราะสังเคราะห์ด้วยแสงได้แม้ไม่มีคลอโรพลาสต์ (Chloroplast)
* มีสารสีต่างๆ แทน เช่น คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a) และแคโรทีนอยด์ (Carotenoid)
* พบอยู่ตามแหล่งน้ำจืดมากกว่าน้ำเค็ม โดยเฉพาะบ่อน้ำร้อน รวมถึงเปลือกไม้ ดิน และหิน
* บางชนิดมีโปรตีนสูงมาก เช่น สาหร่ายเกลียวทอง หรือสาหร่ายสไปรูลิน่า (Spirulina)
* บางชนิดทำให้น้ำเป็นพิษ เช่น สาหร่ายพิษ (Microcystis) ที่มีการปล่อยสารไฮดรอกซิลามีน (Hydroxylamine) ออกมา
* บางชนิดช่วยตรึงก๊าซไนโตรเจนในอากาศ เช่น
  - แอนาบีนา (Anabaena) ในแหนแดง
  - นอสตอก (Nostoc) ในปรง และไลเคนส์
  - ออสซิลลาทอเรีย (Oscillatoria)



Cyanobacteria

3. อาณาจักรโพรทิสตา

ภาพรวม (Kingdom Protista)

- เป็นยูแคริโอติกเซลล์ หรือพวกยูแคริโอต (Eukaryotic Cell หรือ Eukaryote) ที่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส
- มีความหลากหลายสูง เนื่องจากอาณาจักรนี้มีทั้งแบบที่เป็นเซลล์
  - คล้ายสัตว์ (Animal-like Protists) >> โพรโทซัว (Protozoa)
  - คล้ายพืช (Plant-like Protists) >> สาหร่าย (Algae)
  - คล้ายฟังไจ (Fungi-like Protists) >> ราเมือก (Slime Mold)
- ส่วนมากจะเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว
  - หรืออาจมีหลายเซลล์มารวมเป็นกลุ่มหรือกลายเป็นสายยาว
  - แต่จะยังไม่มีการรวมเป็นเนื้อเยื่อหรืออวัยวะ
- ไม่มีระยะตัวอ่อนหรือเอ็มบริโอ (Embryo)
- มีทั้งที่เป็นผู้ผลิต (Autotroph) ผู้บริโภค (Consumer) และผู้ย่อยสลายอินทรียสาร (Decomposer)

โพรโทซัว (Protozoa)

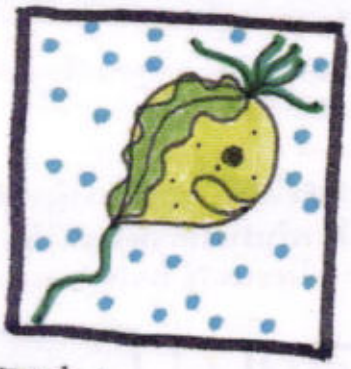
- เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวขนาดเล็ก ที่มีทั้งโทษและประโยชน์ สามารถอาศัยได้ในพื้นที่ที่หลากหลาย
- แบ่งเป็น 5 กลุ่ม ดังนี้

—ไดโพลโมนาดิดา (Diplomonadida)

- เป็นเซลล์ยูแคริโอตที่ยังไม่มีออร์แกเนลล์ต่างๆ
- มีนิวเคลียสเท่ากัน 2 อัน และมีแฟลกเจลลา (Flagella) หลายเส้น
- มักอาศัยในบริเวณที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic Environment)
- เช่น เชื้อไกอาเดีย (Giardia Intestinalis) เป็นปรสิตที่อยู่ในลำไส้เล็กของมนุษย์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

—พาราบาซาลา (Parabasala) หรือพาราบาซาลิด (Parabasalids)

- เป็นเซลล์ยูแคริโอตที่ยังไม่มีออร์แกเนลล์ต่างๆ
- มีแฟลกเจลลา (Flagella) 2 เส้น
- เยื่อหุ้มเซลล์มีลักษณะเป็นคลื่นรอยหยัก
- มักอาศัยในบริเวณที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic Environment)
- เช่น ไตรโคนิมฟา (Trichonympha) อยู่ในลำไส้ปลวกซึ่งอยู่ในภาวะพึ่งพากันช่วยย่อยเซลลูโลสในไม้ และไตรโคโมแนส (Trichomonas) เป็นปรสิตที่อยู่ในช่องคลอด



Trichomonas

— ยูกลีโนซัว (Euglenozoa)

- เคลื่อนที่ด้วยการใช้แฟลกเจลลา (Flagella)
- เป็นทั้งผู้ผลิต เพราะมีคลอโรพลาสต์ (Chloroplast) รวมถึงเป็นผู้บริโภค และเป็นปรสิตด้วย
- เช่น ยูกลีนา (Euglena) เป็นทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค มีจาขสปอต (Eyespot) ในการตอบสนองต่อแสงและเชื้อทริปพาโนโซมา (Trypanosoma) ที่ทำให้เกิดโรคเหงาหลับในมนุษย์ (Sleeping Sickness)

— แอลวีโอลาตา (Alveolata)

- เป็นพวกที่มีแอลวีโอไล (Alveoli) ซึ่งเป็นช่องขนาดเล็ก เรียงอยู่ใต้เซ็ลหุ้มเซลล์ แต่ยังไม่ทราบว่าใช้ทำอะไร
- แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มย่อย ได้แก่
  1) ไดโนแฟลกเจลเลต (Dinoflagellates)
     → เป็นแพลงก์ตอนที่อาศัยอยู่ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม
     → มีแฟลกเจลลา (Flagella) 2 เส้น และมีแผ่นเซลลูโลสมาประกบกันอยู่ด้านใน
     → เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ขี้วาฬ (Red Tide) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์ทะเลมาก
  2) เอพิคอมเพลกซา (Apicomplexas)
     → เป็นปรสิตที่มีโครงสร้างสำหรับแทงผู้ถูกอาศัยโดยเฉพาะ
     → แต่ไม่มีโครงสร้างสำหรับการเคลื่อนที่ ได้แก่ พลาสโมเดียม (Plasmodium) ที่ทำให้เป็นโรคมาลาเรีย โดยมียุงก้นปล่องเป็นพาหะ

3) ซิลิเอต (Ciliates)

→ ใช้ซีเลีย (Cilia) ในการเคลื่อนที่

→ จะอยู่ตามบริเวณที่มีน้ำขังหรือมีความชื้นสูง

→ เป็นกลุ่มที่มีความหลากหลายสูงสุด เช่น พารามีเซียม (Paramecium) วอร์ติเซลลา (Vorticella)

Paramecium

— ไรโซโพดา (Rhizopoda)

- เป็นพวกที่ใช้เท้าเทียม หรือซูโดโพเดียม (Pseudopodium) ในการ
  - → เคลื่อนที่
  - → กินอาหารแบบฟาโกไซโทซิส (Phagocytosis)
- บางชนิดเป็นสิ่งมีชีวิตที่เป็นอิสระ เช่น
  - → อะมีบา (Amoeba)
  - → อาร์เซลลา (Arcella)
- บางชนิดเป็นปรสิต เช่น
  - → เชื้อบิดมีตัว หรือเชื้อเอนทามีบา ฮิสโตไลทิกา (Entamoeba Histolytica)
  - → เชื้อเอนทามีบา โคไล (Entamoeba Coli) ซึ่งกินแบคทีเรียที่ทำให้เกิดแก๊สในลำไส้
  - → เชื้อเอนทามีบา จิงจิวาลิส (Entamoeba Gingivalis) ที่กินแบคทีเรียในปาก ติดต่อได้ทางน้ำลาย

○ สรุปการเคลื่อนที่ของโพรโทซัวได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

- ไม่มีโครงสร้างการเคลื่อนที่ >> กลุ่มย่อยเอพิคอมเพลกซา (Apicomplexas) เช่น พลาสโมเดียม
- เคลื่อนที่ด้วยแฟลกเจลลา >> กลุ่มยูกลีโนซัว (Euglenozoa) เช่น ยูกลีนา
- เคลื่อนที่ด้วยซีเลีย >> กลุ่มซิลิเอต (Ciliates) เช่น พารามีเซียม
- เคลื่อนที่ด้วยเท้าเทียม >> กลุ่มไรโซโพดา (Rhizopoda) เช่น อะมีบา และเชื้อบิดมีตัว

สาหร่าย (Algae)

- เป็นโพรทิสต์ที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้และอยู่ตามบริเวณที่เป็นแหล่งน้ำ
- แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้
  - สตรามีโนพิลา (Stramenopila)
    - เป็นสาหร่ายที่มีทั้งเซลล์เดียวและหลายเซลล์
    - แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย ได้แก่

1) สาหร่ายสีน้ำตาล (Brown Algae)

>> เป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ที่ซับซ้อนมากที่สุด

>> มักอยู่ในทะเล (น้ำเค็ม) และกระแสน้ำเย็น

>> เป็นอาหารและที่อยู่ให้กับสิ่งมีชีวิตอื่นในน้ำ เช่น

→ สาหร่ายเคลป์ (Kelp) เป็นสาหร่ายที่มีขนาดใหญ่มาก และอาจยาวถึง 60 เมตร

>> มีความสำคัญเชิงเศรษฐกิจ เช่น

→ สาหร่ายทุ่น หรือซาร์กัสซัม (Sargassum) ซึ่งมีธาตุไอโอดีนสูงมาก

→ สาหร่ายลามินาเรีย (Laminaria) ที่พบได้มากสุด

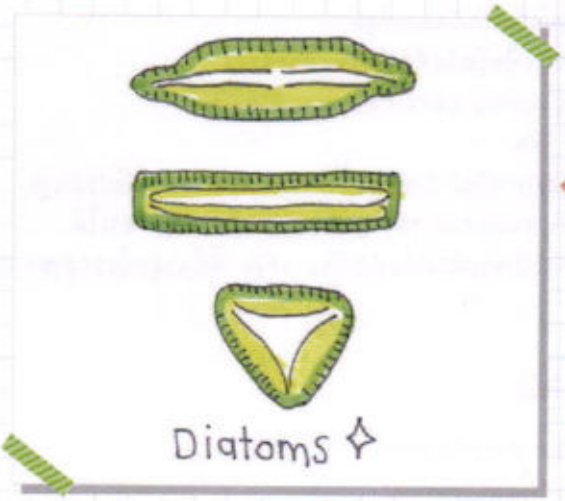
→ สาหร่ายพาไดนา (Padina)

→ สาหร่ายฟิวกัส (Fucus)

>> สาหร่ายทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ลามินาเรีย พาไดนา และฟิวกัส มีธาตุโพแทสเซียมสูง สามารถนำไปทำปุ๋ยได้

>> รวมถึงสามารถสกัดสารแอลจิน (Algin) จากสาหร่ายลามินาเรียและเคลป์ได้

→ โดยสามารถนำมาใช้ทำยา กระดาษ อาหาร ยาง และสบู่ เป็นต้น



2) ไดอะตอม (Diatoms)

>> เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว และเป็นผู้ผลิตที่สำคัญมากทั้งในทะเล และในน้ำจืด

>> มีผนังเซลล์ที่เป็นซิลิกา (Silica) มาหุ้มเป็นฝาทั้งสองด้าน

>> เมื่อตายไป ซากจะมาทับกันที่ใต้พื้นน้ำ เรียกว่า ผงไดอะตอม (Diatoma ceous Earth) ที่นำเอาไปทำเป็นยาสีฟัน สารฟอกสี เครื่องกรอง และยาขัดต่างๆ เป็นต้น

— โรโดไฟตา (Rhodophyta) หรือสาหร่ายสีแดง (Red Algae)

- ไม่มีระยะที่มีแฟลกเจลลา ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้แตกต่างจากสาหร่ายกลุ่มอื่น
- ส่วนใหญ่พบในทะเลมากกว่าในน้ำจืด
- ตัวอย่างของสาหร่ายกลุ่มนี้ เช่น

>> สาหร่ายสายใบ หรือจีฉ่าย หรือโนริ (Porphyra) นำมาประกอบอาหารได้

>> สาหร่ายผมนาง หรือกราซิลาเรีย (Gracilaria) ที่ผนังเซลล์จะมีสารเมือก หรือคาราจีแนน (Carageenan) สำหรับใช้ผลิตวุ้น (Agar) หรือเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

— คลอโรไฟตา (Chlorophyta) หรือสาหร่ายสีเขียว (Green Algae)

- เป็นกลุ่มสาหร่ายที่มีความใกล้เคียงกับพืชมากที่สุด
- ส่วนใหญ่พบในน้ำจืด จึงถือว่าเป็นผู้ผลิตที่สำคัญในแหล่งน้ำจืด
- มีเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่อยู่ในทะเล และอาจพบบนบกด้วย
- ตัวอย่างของสาหร่ายกลุ่มนี้ เช่น
  >> สาหร่ายคลอเรลลา (Chlorella) มักนำมาทำอาหารเสริม เพราะมีโปรตีนสูง
  >> สาหร่ายสไปโรไจรา (Spirogyra) หรือเทาน้ำ นำมาประกอบอาหารได้
  >> สาหร่ายไฟ (Chara) มีลักษณะใกล้เคียงกับพืชมากที่สุด ทั้งในกลุ่มนี้และสาหร่ายทั้งหมด

ราเมือก (Slime Mold)

- เป็นโพรทิสต์ที่อยู่ในกลุ่มไมซีโทซัว (Mycetozoa)
- มีลักษณะเป็นเมือกสีขาวหรือใส และไม่มีคลอโรฟิลล์
- พบได้ตามใบไม้ที่เน่าผุ ตามขอนไม้ หรือบนดินที่มีความเปียกชื้น
- เป็นผู้ย่อยสลายซินทรียสาร (Decomposer) ที่สำคัญ แต่มีบางชนิดที่เป็นปรสิตในพืช เช่น พลาสโมดิโอฟอรา (Plasmodiophora) ที่ทำให้เกิดโรครากบวมของพืชตระกูลกะหล่ำ
- แบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย ได้แก่
  1) ราเมือกชนิดพลาสโมเดียม (Plasmodial Slime Mold)
     - เซลล์มีหลายนิวเคลียส ไม่มีผนังเซลล์ กินอาหารด้วยวิธีฟาโกไซโทซิส
  2) ราเมือกชนิดเซลลูลาร์ (Cellular Slime Mold)
     - เซลล์มีนิวเคลียสเดียว อยู่ตามอิสระ ลักษณะคล้ายอะมีบา
- โดยราเมือกมีวงจรชีพแบบสลับ ดังนี้

4. อาณาจักรฟังไจ (Kingdom Fungi)

ภาพรวม

ได้แก่พวกเห็ด รา และยีสต์

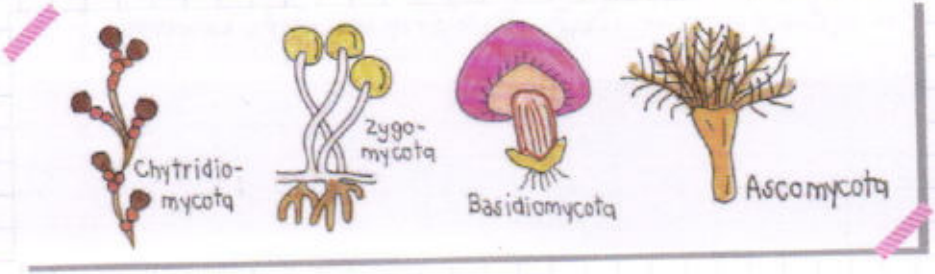
- เป็นยูแคริโอติกเซลล์ หรือพวกยูแคริโอต (Eukaryotic Cell หรือ Eukaryote)
  - มีผนังเซลล์ที่มีสารไคติน (Chitin) เป็นองค์ประกอบ
  - ไม่มีคลอโรฟิลล์ จึงสร้างอาหารเองไม่ได้
  - อาจมีหรือไม่มีเยื่อกั้นระหว่างเซลล์ก็ได้
  - มีเส้นใยขนาดเล็กเรียกว่า ไฮฟา (Hypha) ซึ่งถ้าอยู่เป็นกลุ่มจะเรียกว่า ไมซีเลียม (Mycelium) หรือขุยรา

    ยีสต์เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวและไม่มีไฮฟา เห็ดจะมีไมซีเลียมรวมกันเป็นดอกเห็ด
    - ทำหน้าที่จับอาหารและหลั่งเอนไซม์ไปย่อยข้างนอกแล้วจึงค่อยดูดซึมสารอาหาร
    - อาจมีส่วนที่ผลิตพันติน จากปกติที่ไมซีเลียมจะกระจายอยู่ใต้ดิน
      >> เรียกว่า ฟรุตติ้ง บอดี้ (Fruiting Body) ซึ่งทำหน้าที่
      → เปลี่ยนเป็นโครงสร้างที่ดูดสารจากโฮสต์ ในฟังไจที่เป็นปรสิต
      → สร้างสปอร์สำหรับการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (Sexual Spore)
- เป็นทั้งสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์และเซลล์เดียว ไม่มีการรวมเป็นเนื้อเยื่อหรืออวัยวะ
- ไม่มีระยะตัวอ่อนหรือเอ็มบริโอ (Embryo)
- ส่วนใหญ่เป็นผู้ย่อยสลายอินทรียสาร (Decomposer) และบางชนิดเป็นปรสิต (Parasite)
- ฟังไจที่ไม่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (Asexual Spore) เรียกว่า ฟังไจอิมเพอร์เฟคไท (Fungi Imperfecti)
  - เป็นฟังไจที่ไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มใด เช่น ราเพนิซิลเลียม (Penicillium) ที่นำมาทำเป็นยาปฏิชีวนะ เพนิซิลลิน เพื่อฆ่าแบคทีเรีย

ฟังไจแบ่งเป็น 4 ไฟลัม

โดยอาศัยสปอร์เพศ (Sexual Spore) ในการแบ่ง ได้แก่

- ไฟลัมไคทริดิโอไมโคตา (Phylum Chytridiomycota) หรือเรียกง่ายๆ ว่า ไคทริด
  - มีการสืบพันธุ์ทั้งแบบไม่อาศัยเพศและอาศัยเพศด้วยการสร้างเซลล์สืบพันธุ์และสปอร์
  - โดยที่สปอร์จะมีแฟลกเจลลาสำหรับการเคลื่อนที่
  - เชื่อว่ามีวิวัฒนาการมาจากโพรทิสต์ที่มีแฟลกเจลลา



- ไฟลัมไซโกไมโคตา (Phylum Zygomycota)
  - มีลักษณะคล้ายสาหร่าย ส่วนใหญ่อยู่บนพื้นดิน
  - มีไฮฟาแบบไม่มีเยื่อกั้นเซลล์ จึงเป็นเซลล์ที่ต่อกันไปตลอดเส้น
  - มีการสร้างไซโกสปอร์ (Zygospore) สำหรับการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศเมื่อสิ่งแวดล้อมไม่เหมาะสม
  - ตัวอย่างที่เจ้าของกลุ่มนี้ เช่น ราดำ (Rhizopus) ที่ขึ้นบนขนมปัง
- ไฟลัมแอสโคไมโคตา (Phylum Ascomycota)
  - พบมากที่สุด เพราะอยู่ทั้งในทะเล น้ำจืด และบนบก
  - มีการสร้างแอสโคสปอร์ (Ascospore) ในถุงที่เรียกว่า แอสคัส (Ascus) สำหรับการสืบพันธุ์ แบบอาศัยเพศ ได้แก่ ยีสต์ โมเรล ทรัฟเฟิล และราแดง
- ไฟลัมเบสิดิโอไมโคตา (Phylum Basidiomycota)
  - เป็นผู้ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สำคัญมากที่สุด เพราะสามารถย่อยสลายไม้ และสารพอลิเมอร์ต่างๆ ได้
  - มีการสร้างเบสิดิโอสปอร์ (Basidiospore) ซึ่งอยู่ใต้ฟรุตติ้ง บอดี้ขนาดใหญ่ สำหรับการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ ได้แก่ เห็ดชนิดต่างๆ ที่ส่วนใหญ่เป็นพืชเศรษฐกิจ เช่น เห็ดหูหนู เห็ดฟาง เห็ดโคน เห็ดหอม และยังมี
    - ราสนิม ราเขม่าดำ ที่เป็นปรสิตของพืชหลายชนิด
    - ราไมคอร์ไรซา (Mycorrhizae) อยู่ร่วมกันแบบภาวะพึ่งพากันกับรากพืช ช่วยเพิ่มการดูดซึมแร่ธาตุ

ไลเคน (Lichen)

- อยู่ได้ทั่วไปไม่ว่าจะอุณหภูมิเท่าไร ความชื้นไม่มากก็สามารถเจริญได้
- ประกอบด้วย สาหร่ายสีเขียวหรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ที่อยู่ร่วมกันกับรา
  - เป็นการอยู่อาศัยแบบภาวะพึ่งพากัน
    - สาหร่ายให้วิตามินและคาร์โบไฮเดรตแก่รา
    - ราก็ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เกลือแร่ และร่มเงาแก่สาหร่าย
- แบ่งตามรูปร่างได้ ดังนี้
  - ครัสโตส (Crustose) เป็นแผ่นบาง เกาะแน่น
  - โฟลิโอส (Foliose) เป็นแผ่นคล้าย ใบไม้ เกาะไม่แน่นมาก
  - ฟรูติโคส (Fruticose) เป็นเส้น คล้ายกิ่งไม้ห้อย เช่น ฟองหิน และฝอยละ

5. อาณาจักรพืช (Kingdom Plantae)

ภาพรวม

- เชื่อว่ามีวิวัฒนาการมาจากสาหร่ายสีเขียว กลุ่มคาโรไฟต์ (Charophytes)
- เป็นยูแคริโอติกเซลล์ หรือพวกยูแคริโอต (Eukaryotic Cell หรือ Eukaryote)
  - มีผนังเซลล์เป็นเซลลูโลส (Cellulose)
  - มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส (Nuclear Membrane)
  - ทำหน้าที่เป็นผู้ผลิต (Autotroph) เพราะสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้
  - เป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ที่รวมตัวกันทำหน้าที่เป็นเนื้อเยื่อ (Tissue)
  - ต้องมีระยะที่เป็นเอ็มบริโอมาก่อนในวงจรชีวิต
  - เคลื่อนไหวได้ แต่เคลื่อนที่ไม่ได้
- พืชมีวงจรชีวิตแบบสลับ (Alternation of Generation) มี 2 ระยะที่จะสลับกันไปตลอดชีวิตของพืช ได้แก่

  1) ระยะสปอโรไฟต์ (Sporophyte)
     - เป็นระยะที่มีจำนวนโครโมโซมสองชุด หรือเซลล์ดิพลอยด์ (2n)
     - ทำหน้าที่สร้างสปอร์ (Spore) อยู่ข้างในสับสร้างสปอร์ (Sporangium) สำหรับการสืบพันธุ์
     - ด้วยการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสของสปอร์มาเทอร์เซลล์ (Spore Mother Cell)
     - เป็นต้นพืชที่อยู่อย่างอิสระทั่วๆ ไป เช่น ต้นถั่วลิสง ต้นข้าวโพด ต้นมะเขือเทศ

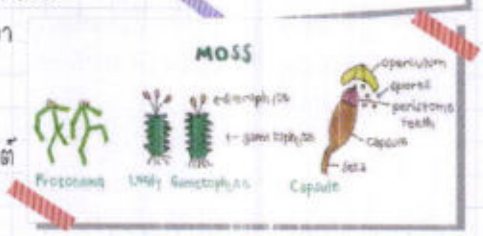
  2) ระยะแกมีโตไฟต์ (Gametophyte)
     - เป็นระยะที่มีจำนวนโครโมโซมชุดเดียว หรือเซลล์แฮพลอยด์ (n)
     - ทำหน้าที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์
     - แกมีโตไฟต์ของเพศผู้ (Male Gametophyte) เรียกว่า ละอองเรณู (Pollen)
     - แกมีโตไฟต์ของเพศเมีย (Female Gametophyte) เรียกว่า ถุงเอ็มบริโอ (Embryo Sac)

       >> เมื่อเซลล์สืบพันธุ์ทั้งเพศผู้และเพศเมียมาปฏิสนธิกันก็จะได้สปอโรไฟต์รุ่นต่อไป

**ส่วนมากแล้วพืชจะมีสปอโรไฟต์เด่น มองเห็นได้ชัดเจน
แต่แกมีโตไฟต์จะเล็กมาก ส่วนพืชชั้นต่ำจะมีแกมีโตไฟต์เด่นกว่าและอยู่นานกว่า
ส่วนแกมีโตไฟต์ในพืชดอกแทบไม่เด่นเลย**

พืชไม่มีเนื้อเยื่อลำเลียง (Nonvascular plant)

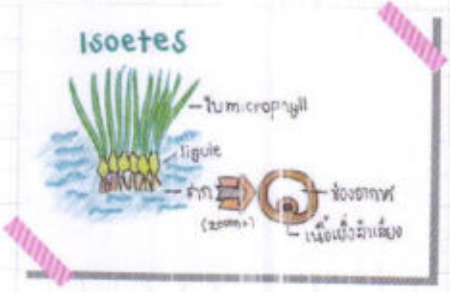
- เป็นพืชขนาดเล็กที่ไม่มีราก ใบ และลำต้นแท้จริง
- มีส่วนคล้ายราก เรียกว่า ไรซอยด์ (Rhizoid) สำหรับลำเลียงน้ำและแร่ธาตุด้วยการแพร่
- ระยะแกมีโตไฟต์จะยาว ส่วนระยะสปอโรไฟต์สั้นและต้องอาศัยอยู่บนต้นแกมีโตไฟต์เสมอ
- แบ่งออกเป็น 3 ดิวิชัน ที่เรียกรวมกันว่า แทลลัส (Thallus) ได้แก่
  - ดิวิชันเฮปาโทไฟตา (Division Hepatophyta) ได้แก่ ลิเวอร์เวิร์ท
  - ดิวิชันแอนโทซีโรไฟตา (Division Anthocerophyta) ได้แก่ ฮอร์นเวิร์ท
  - ดิวิชันไบรโอไฟตา (Division Bryophyta) ได้แก่ มอส
    - โดยเริ่มแรกจะสร้างแกมีโตไฟต์ระยะแรก เรียกว่า โปรโตนีมา (Protonema)
      - >> เมื่อเจริญเต็มที่จะแตกหน่อออกมาเป็นแกมีโตไฟต์ระยะที่สอง เรียกว่า ลีฟีแกมีโตไฟต์ (Leafy Gametophyte)



พืชมีเนื้อเยื่อลำเลียงที่ไม่มีเมล็ด

- มีสปอโรไฟต์เด่นกว่า อาจจะอยู่ร่วมกันชั่วคราวหรือแยกกันอยู่กับแกมีโตไฟต์ที่เด่นน้อยกว่าก็ได้
- แบ่งออกเป็น 2 ดิวิชัน ได้แก่

1) ดิวิชันไลโคไฟตา (Division Lycophyta)
   - ที่ปลายยอดมีใบมารวมกันเหมือนเกล็ดขนาดเล็กซ้อนกัน เรียกว่า สโตรบิลัส (Strobilus)
     - >> โดยใบที่รวมกันนั้นแต่ละใบ เรียกว่า สปอโรฟิลล์ (Sporophyll) ทำหน้าที่สร้างสปอร์
   - แบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อย ได้แก่
     - >> ไลโคโพเดียม (Lycopodium) เช่น สามร้อยยอด หางสิงห์
     - >> ซีแลกจิเนลลา (Selaginella) เช่น ตีนตุ๊กแก และนาคราช
     - >> กระเทียมน้ำ (Isoetes)

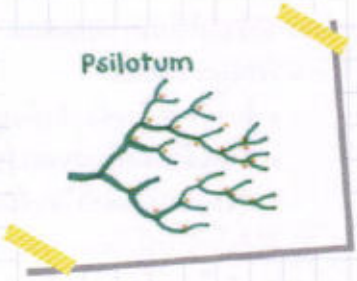


2) ดิวิชันเทอโรไฟตา (Division Pterophyta)

- ตัวอย่างของพืชกลุ่มนี้ ได้แก่

>> หวายทะนอย (Psilotum)

→ ไม่มีรากไม่มีใบ ลำต้นอยู่ใต้ดิน แตกกิ่งทีละคู่



>> หญ้าถอดปล้อง (Equisetum)

→ ลำต้นมีข้อปล้องชัดเจน มีทั้งลำต้นบนดินและลำต้นใต้ดิน เรียกว่า ไรโซม (Rhizome)

→ มีการสร้างสโตรบิลัส (Strobilus) ไว้ที่ปลายกิ่ง

>> เฟิร์น (Fern)

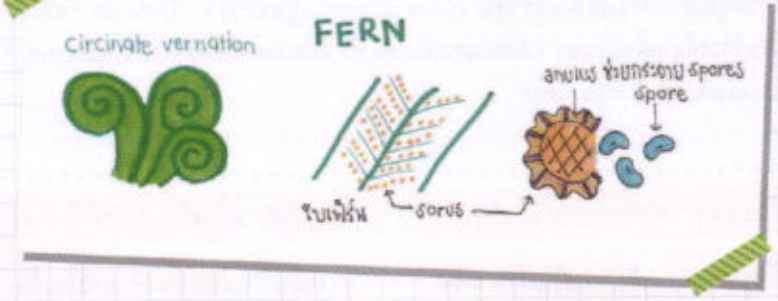
→ มีใบอ่อนม้วนจากปลายเข้าสู่โคน เป็นแบบลานนาสิกา (Circinate Vernation)

→ ระยะสปอโรไฟต์จะสร้างซอรัส (Sorus) ซึ่งเป็นกลุ่มของอับสปอร์ที่บริเวณใต้ท้องใบ

→ ระยะแกมีโตไฟต์จะมีโพรแทลลัส (Prothallus) เป็นแผ่นบางสีเขียวรูปร่างคล้ายหัวใจ

→ ส่วนมากจะสร้างสปอร์ชนิดเดียว (Homospore) เช่น ปรงทะเล ผักกูดและชายผ้าสีดา

→ ส่วนเฟิร์นน้ำ จะสร้างสปอร์ 2 ชนิด (Heterospore) เช่น ผักแว่น จอกหูหนูและแหนแดง



พืชมีเนื้อเยื่อลำเลียงที่มีเมล็ด

- มีสปอโรไฟต์เด่นมาก ในขณะที่แกมีโตไฟต์เล็กมาก จนแทบมองไม่เห็น
- แบ่งออกเป็น 5 ดิวิชัน
  - 4 ดิวิชันแรกเมล็ดจะยังไม่มีเปลือกหุ้ม หรือ เมล็ดเปลือย (Gymnosperm)
  - ดิวิชันสุดท้ายจะเป็นเมล็ดที่มีเปลือกหุ้ม (Angiosperm)

1) ดิวิชันไซแคโดไฟตา (Division Cycadophyta) ได้แก่ ต้นปรง

- ลำต้นเตี้ย ใบขนาดใหญ่ อยู่ในบริเวณที่แห้งแล้งได้ดี เช่น ปาเต็งรัง และป่าดิบเขา
- มีโคนต้นเพศผู้และเพศเมียแยกกันคนละต้น

2) ดิวิชันกิงโกไฟตา (Division Ginkophyta) ได้แก่ แปะก๊วย แต่สปีชีส์เดียวเท่านั้น คือ Ginkgo biloba

- ใบรูปร่างคล้ายพัด ลำต้นสูงใหญ่ เป็นพืชเขตอบอุ่น
- มีโคนต้นเพศผู้และเพศเมียแยกกันคนละต้น
- คนมักนำเมล็ดแปะก๊วยที่มีอาหารสะสมไว้มารับประทาน

3) ดิวิชันโคนิเฟอโรไฟตา (Division Coniferophyta) ได้แก่ สนสองใบ สนสามใบ และสนสามพันใบ

- อาจมีโคนต้นเพศผู้และเพศเมียอยู่ในต้นเดียวกัน หรือแยกกันคนละต้นก็ได้

4) ดิวิชันนีโทไฟตา (Division Gnetophyta) ได้แก่ มะเมื่อย (Gnetum)

- ส่วนมากจะพบในป่าชื้นบริเวณเขตร้อน
- มีลักษณะคล้ายพืชดอก เช่น
  - >> มีเวสเซล (Vessel) ในท่อลำเลียงน้ำ (Xylem)
  - >> มีกลีบดอก และใบเลี้ยง 2 ใบ แต่เมล็ดเป็นเมล็ดเปลือย

5) ดิวิชันแอนโทไฟตา (Division Anthophyta) ได้แก่ พืชดอก (Angiosperm)

- ใช้ดอกเป็นอวัยวะในการสืบพันธุ์
- เป็นกลุ่มเดียวที่เมล็ดมีเปลือกหุ้ม เนื่องจากเกิดการปฏิสนธิซ้อน (Double Fertilization)
- เชื่อว่าวงศ์แอมโบเรลลา (Amborellaceae) เป็นวงศ์ของพืชดอกในกลุ่มแรกๆ
- แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

พืชใบเลี้ยงเดี่ยว (Monocotyledon)	พืชใบเลี้ยงคู่ (Dicotyledon)
• เส้นใบเป็นแบบขนานกันและมีใบเลี้ยง 1 ใบ	• เส้นใบเป็นแบบร่างแหและมีใบเลี้ยง 2 ใบ
• กลีบดอกมีจำนวน 3 กลีบ หรือจำนวนที่เป็น 3 เท่า	• กลีบดอกมีจำนวน 4 - 5 กลีบ หรือจำนวนที่เป็น 4 - 5 เท่า
• ส่วนมากมีรากฝอย	• ส่วนมากมีรากแก้ว
• มองเห็นข้อและปล้องได้ชัด	• มองเห็นข้อและปล้องได้ไม่ชัดเจน
• ท่อลำเลียงในลำต้นจะเรียงกันไม่เป็นระเบียบ	• ท่อลำเลียงในลำต้นจะเรียงกันเป็นระเบียบ
• ไม่มีแคมเบียม ทำให้มีการเจริญสูงขึ้นได้อย่างเดียว	• มีแคมเบียมทั้งในรากและลำต้น ทำให้มีการเจริญออกทางด้านข้างได้
• เช่น ผักตบชวา จอก แหน	• เช่น กาฝาก หม้อข้าวหม้อแกงลิง ผักบุ้ง และบัว

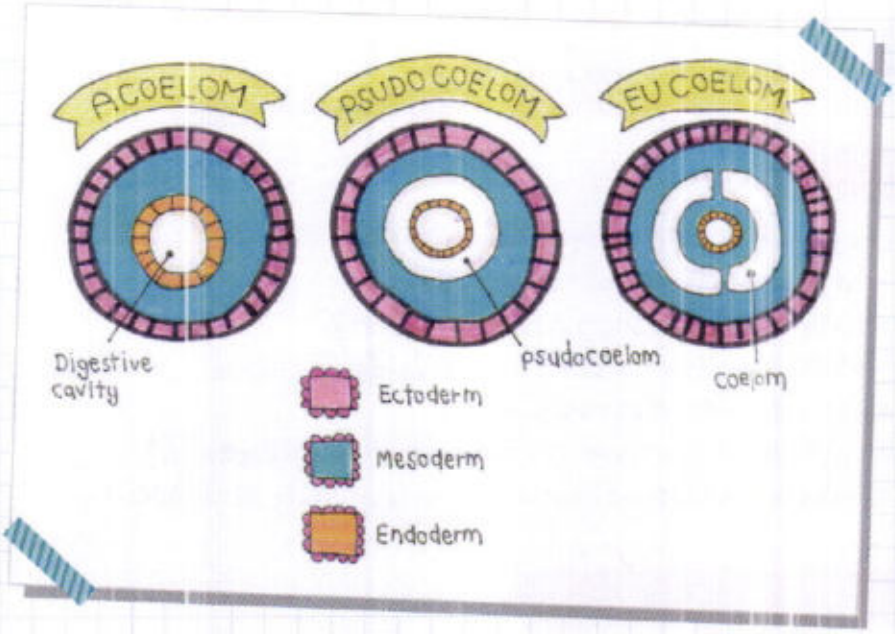
6. อาณาจักรสัตว์ (Kingdom Animalia)

ภาพรวม

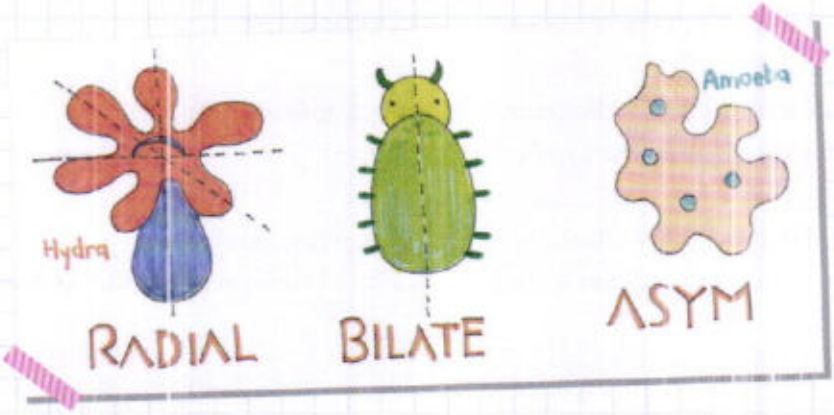
- เป็นยูแคริโอติกเซลล์ หรือพวกยูแคริโอต (Eukaryotic Cell หรือ Eukaryote)
  - ไม่มีผนังเซลล์ (Cell Wall) และคลอโรพลาสต์
  - มีเยื่อหุ้มเซลล์ นิวเคลียส และออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม
- เป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ที่รวมตัวกันทำหน้าที่เป็นเนื้อเยื่อ (Tissue)
- ต้องมีระยะที่เป็นเอ็มบริโอมาก่อนในวงจรชีวิต
- เป็นผู้บริโภค (Heterotroph) เพราะไม่สามารถสร้างอาหารด้วยตัวเองได้
- ตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้รวดเร็ว เพราะมีระบบประสาทและอวัยวะรับสัมผัสที่เจริญ

เกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนกสัตว์

- ลักษณะเนื้อเยื่อ
  - ไม่มีเนื้อเยื่อที่แท้จริง
    - พบในฟองน้ำ
  - มีเนื้อเยื่อที่แท้จริง
    - พบตั้งแต่ไฟลัมไนดาเรียขึ้นไป
- ช่องว่างภายในลำตัว (Coelom) เป็นช่องที่อยู่ระหว่างผนังลำตัวกับอวัยวะภายในตัว
  - ไม่มีช่องว่างภายในลำตัว (Acoelom)
    - เนื้อเยื่อชั้นกลาง (Mesoderm) แทรกระหว่างเนื้อเยื่อชั้นนอก (Ectoderm) และใน (Endoderm)
    - พบในไฟลัมพอริเฟอรา ไนดาเรีย และแพลทีเฮลมินเทส
  - ช่องว่างลำตัวเทียม (Psuedocoelom)
    - มีเนื้อเยื่อชั้นกลาง (Mesoderm) บุอยู่เพียงด้านเดียวของช่องลำตัว
    - พบในไฟลัมเนมาโทดาเท่านั้น
  - ช่องว่างลำตัวแท้ (Eucoelom)
    - มีเนื้อเยื่อชั้นกลาง (Mesoderm) บุอยู่ทั้ง 2 ด้านของช่องลำตัว
    - พบในไฟลัมแอนเนลิดา อาร์โทโพดา มอลลัสกา เอไคโนเดอร์มาตา และคอร์ดาตา



- สมมาตรร่างกาย (Symmetry)
  - ไม่มีสมมาตร (Asymmetry)
    - พบในฟองน้ำบางชนิด
  - สมมาตรรัศมี (Radial Symmetry)
    - สามารถแบ่งร่างกายได้มากกว่า 4 ซีก ด้วยการตัดผ่านจุดศูนย์กลางตามแนวรัศมี
    - พบในฟองน้ำส่วนใหญ่ ไฟลัมไนดาเรีย และเอไคโนเดอร์มาตาเมื่อโตเต็มวัย
  - สมมาตรครึ่งซีกหรือด้านข้าง (Bilateral Symmetry)
    - สามารถแบ่งร่างกายได้เท่ากัน 2 ด้าน คือ ทั้งด้านซ้ายและขวา
    - พบตั้งแต่ไฟลัมแพลทีเฮลมินเทสขึ้นไป



- การเปลี่ยนแปลงของบลาสโตพอร์ (Blastopore) พบเฉพาะในสัตว์ที่มีสมมาตรร่างกายเท่ากันทั้ง 2 ด้าน
  - โพรโทสโทเมีย (Protostomia)
    - เป็นพวกที่บลาสโตพอร์จะเปลี่ยนไปเป็นช่องปาก ทำให้ปากเกิดก่อนทวารหนัก
    - พบในไฟลัมแพลทีเฮลมินเทส เนมาโทดา แอนเนลิดา อาร์โทรโพดา และมอลลัสกา
  - ดิวเทอโรสโทเมีย (Deuterostomia)
    - เป็นพวกที่บลาสโตพอร์เปลี่ยนไปเป็นช่องทวารหนัก ทำให้ปากเกิดหลังทวารหนัก
    - พบในไฟลัมเอไคโนเดอร์มาตา และคอร์ดาตา
- การเจริญในระยะเอ็มบริโอ (Embryo) พบเฉพาะในสัตว์ที่มีช่องปากแบบโพรโทสโทเมีย (ปากเกิดก่อน)
  - โทรโคฟอร์ (Trochophore)
    - เป็นกลุ่มที่มีซีเลีย (Cilia) สำหรับว่ายน้ำ
    - พบในพวกหนอนตัวแบน ไฟลัมแพลทีเฮลมินเทส แอนเนลิดา และมอลลัสกา
  - เอคไดโซซัว (Ecdysozoa)
    - เป็นกลุ่มที่มีการลอกคราบขณะกำลังเจริญเติบโต
    - พบในพวกหนอนตัวกลม ไฟลัมเนมาโทดา และอาร์โทรโพดา
- จำนวนชั้นของเนื้อเยื่อในระยะเอ็มบริโอ (Germ Layer)
  - ไม่มีเนื้อเยื่อ
    - พบในฟองน้ำ เพราะเนื้อเยื่อของฟองน้ำที่มี 2 ชั้นนั้นไม่ใช่เนื้อเยื่อที่แท้จริง
  - เนื้อเยื่อ 2 ชั้น
    - มีแค่เนื้อเยื่อชั้นนอก (Ectoderm) และเนื้อเยื่อชั้นใน (Endoderm)
    - พบในไฟลัมไนดาเรีย
  - เนื้อเยื่อ 3 ชั้น
    - มีครบทั้งเนื้อเยื่อชั้นนอก (Ectoderm) ชั้นกลาง (Mesoderm) และชั้นใน (Endoderm)
    - พบตั้งแต่ไฟลัมแพลทีเฮลมินเทสเป็นต้นไปจนถึงคอร์ดาตา
- การแบ่งเป็นปล้อง (Segmentation หรือ Metamerism)
  - สัตว์ที่มีลำตัวเป็นข้อปล้อง พบแค่ในไฟลัมแอนเนลิดา อาร์โทโพดา และคอร์ดาตา

- ระบบทางเดินอาหาร (Digestive system)
  - ไม่มีทางเดินอาหาร
    - แต่เป็นช่องว่างแบบร่างแหภายในลำตัว เพื่อให้น้ำจากภายนอกเข้าสู่ลำตัว
    - พบในไฟลัมพอริเฟอรา
  - มีทางเดินอาหารแบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete Digestive Tract)
    - ช่องว่างกลางลำตัวเป็นช่องเปิดทางด้านเดียว ไม่มีทวารหนัก
    - พบในไฟลัมไนดาเรีย และแพลทีเฮลมินเทส (ยกเว้นพยาธิตัวตืด)
  - มีทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์ (Complete Digestive Tract)
    - มีปาก ลำไส้ และทวารหนักแบบสมบูรณ์ เป็นท่อกลวงมีช่องเปิด 2 ด้าน
    - พบตั้งแต่ไฟลัมเนมาโทดาจนถึงคอร์ดาตา
- ระบบหมุนเวียนเลือด
  - ไม่มีระบบหมุนเวียนเลือด
    - พบในไฟลัมพอริเฟอรา ไนดาเรีย แพลทีเฮลมินเทส และเนมาโทดา
  - ระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิด (Open Circulatory System)
    - มีหัวใจและหลอดเลือดสำหรับสูบฉีดเลือด แต่น้ำเลือดส่วนมากจะเปิดเข้าที่ช่องว่างกลางลำตัว
    - พบในไฟลัมอาร์โทรโพดา เวไคโนเดอร์มาตา และมอลลัสกา (หอย)
  - ระบบหมุนเวียนเลือดแบบปิด (Closed Circulatory System)
    - น้ำเลือดจะไหลเวียนอยู่ในหลอดเลือดเสมอ
    - พบในไฟลัมแอนเนลิดา (พวกแรก) มอลลัสกา (หมึก) และคอร์ดาตา
- ระบบประสาท (Nervous System)
  - ไม่มีระบบประสาท
    - พบในฟองน้ำ
  - มีระบบประสาทแบบร่างแห (Nerve Net) แต่ไม่มีระบบประสาทส่วนกลาง
    - พบในไฟลัมไนดาเรีย โดยถือว่าเป็นพวกแรกที่มีระบบประสาท
  - มีระบบประสาทส่วนกลาง และมีเส้นประสาทใหญ่เป็นท่อตันใต้ทางเดินอาหาร
    - พบตั้งแต่ไฟลัมแพลทีเฮลมินเทสจนถึงเวไคโนเดอร์มาตา
  - มีระบบประสาทส่วนกลาง และมีเส้นประสาทใหญ่เป็นท่อกลวงอยู่บนทางเดินอาหาร
    - พบในไฟลัมคอร์ดาตา

แบ่งเป็น 9 ไฟลัม โดยเรียงตามสายวิวัฒนาการ ได้ดังนี้

- **ไฟลัมพอริเฟอรา (Phylum Porifera)** ได้แก่ พวกฟองน้ำ เช่น ฟองน้ำหินปูน ฟองน้ำแก้ว โพรโทสโทเมีย (Protostomia)

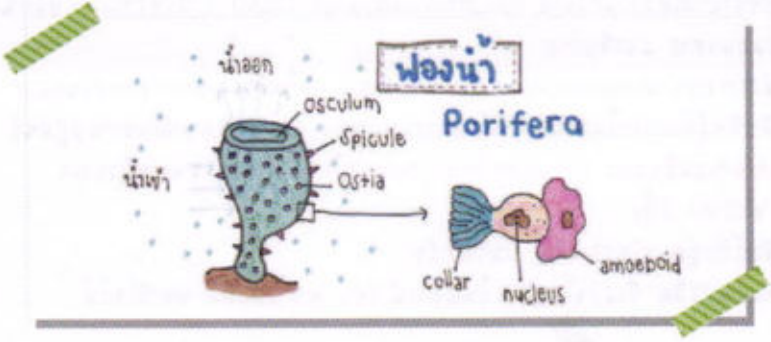
— โครงสร้างร่างกาย

- มีเนื้อเยื่อ 2 ชั้น แต่ไม่ใช่เนื้อเยื่อแท้จริง ไม่มีช่องว่างภายในลำตัว
- ระหว่างเนื้อเยื่อทั้ง 2 ชั้นจะมีชั้นที่เป็นวุ้นอยู่ (Mesophyll)
- มีช่องเล็กให้น้ำเข้าเรียกว่า ออสเตีย (Ostia) และช่องใหญ่ให้น้ำออก เรียกว่า ออสคูลัม (Osculum)
- มีเซลล์ปลอกคอ (Collar Cell) อยู่ที่ผนังด้านใน มีแฟลกเจลลัมสำหรับพัดโบกและจับอาหาร

เซลล์ปลอกคอเป็นโครงสร้างพิเศษเฉพาะในไฟลัมพอริเฟอรา

- มีอะมีโบไซต์ (Amoebocyte) สำหรับช่วยลำเลียง ย่อยอาหาร และสร้างขวาก (Spicule)
- ขวากเป็นโครงร่างค้ำจุนให้ฟองน้ำคงรูปอยู่ได้ โดยส่วนประกอบของขวากมักเป็นหินปูนและซิลิกา

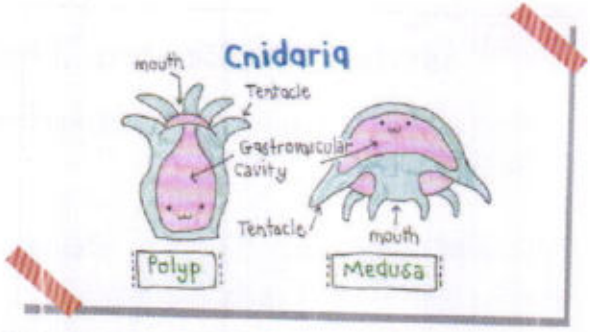
>> สามารถแยกชนิดของฟองน้ำด้วยชนิดของขวาก
เช่น ฟองน้ำหินปูน มีขวากเป็นหินปูน ฟองน้ำแก้ว มีขวากเป็นซิลิกา



— ระบบภายในร่างกาย

- ไม่มีทางเดินอาหาร แต่จะย่อยอาหารในเซลล์ปลอกคอและอะมีโบไซต์
- สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศด้วยการปฏิสนธิ และไม่อาศัยเพศด้วยการแตกหน่อ งอกใหม่

- **ไฟลัมไนดาเรีย (Phylum Cnidaria)** หรือ **ซีเลนเทอราตา (Phylum Coelenterata)** ได้แก่ ไฮดรา และแมงกะพรุนในน้ำจืด ปะการัง กัลปังหา ปากกาทะเล และดอกไม้ทะเลในน้ำเค็ม



- โครงสร้างร่างกาย
  - มีเนื้อเยื่อ 2 ชั้น ไม่มีช่องว่างภายในลำตัว
  - ระหว่างเนื้อเยื่อทั้ง 2 ชั้นจะมีของเหลวเป็นวุ้นอยู่ภายใน (Mesoglea)
  - มีรูปร่างทรงกระบอก (Polyp) และแบบเป็นทรงคล้ายร่ม (Medusa) สลับกันไป
    >> แต่ส่วนมากจะมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกอย่างเดียว
  - มีสมมาตรร่างกายทั้งแบบครึ่งซีกและแบบรัศมี
- ระบบภายในร่างกาย
  - มีทางเดินอาหารแบบไม่สมบูรณ์
    >> แต่จะมีเข็มพิษ (Nematocyst) อยู่บนหนวด (Tentacle) รอบปากสำหรับจับอาหารรวมถึงป้องกันตัวเอง

      เข็มพิษเป็นโครงสร้างพิเศษเฉพาะในไฟลัมไนดาเรีย
  - มีช่องแกสโตรวาสคิวลาร์ (Gastrovascular Cavity) สำหรับแลกเปลี่ยนแก๊ส ย่อยอาหาร และขับถ่าย
  - มีระบบประสาทแบบร่างแห (Nerve Net) แต่ไม่มีระบบประสาทส่วนกลาง
  - สืบพันธุ์ทั้งแบบไม่อาศัยเพศด้วยการแตกหน่อ และอาศัยเพศด้วยการปฏิสนธิ

○ ไฟลัมแพลทีเฮลมินเทส (Phylum Platyhelminthes) ได้แก่ หนอนตัวแบน (Flat Worm) มีทั้ง
  - สัตว์ที่อยู่ตามอิสระ เช่น พลานาเรีย
  - ที่เป็นปรสิต ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแบบนี้ เช่น พยาธิตัวตืด พยาธิใบไม้

— โครงสร้างร่างกาย

- มีเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ไม่มีช่องว่างภายในลำตัว
- มีรูปร่างแบนยาวและบาง
- ถ้าเป็นปรสิตจะมีคิวทิเคิล (Cuticle) ห่อหุ้ม เพื่อป้องกันน้ำย่อยของโฮสต์หรือผู้ถูกอาศัย
- มีสมมาตรร่างกายแบบครึ่งซีก (Bilateral)
- กล้ามเนื้อเป็นแบบเรียงตัวตามยาวและตามวง
  - >> ทำให้เกิดการทำงานแบบตรงกันข้าม (Antagonism)
  - >> ซึ่งเป็นการทำงานแบบตรงข้ามกันของกล้ามเนื้อ แบบหดและคลายตัวสลับกันไป
  - >> โดยถือว่าแพลทีเฮลมินเทสเป็นพวกแรกที่มีการทำงานแบบนี้

— ระบบภายในร่างกาย

- มีทางเดินอาหารแบบไม่สมบูรณ์ ยกเว้นพยาธิตัวตืดจะไม่มีทางเดินอาหาร
- ใช้เฟลมเซลล์ (Flame Cell) ในการขับถ่าย
- ถ้าเป็นสัตว์ที่อยู่ตามอิสระจะใช้ผิวหนังในการหายใจ แต่ถ้าเป็นปรสิตจะหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน
- มีเส้นประสาทใหญ่ (Nerve Cord) 2 เส้น และถือว่าเป็นพวกแรกที่มีปมประสาท (Ganglion)
- สืบพันธุ์ทั้งแบบไม่อาศัยเพศ เช่น การงอกใหม่ของพลานาเรีย และแบบอาศัยเพศทั้งแบบปฏิสนธิในตัวเองและข้ามตัว แต่ส่วนมากจะเป็นกะเทย

○ ไฟลัมเนมาโทดา (Phylum Nematoda) ได้แก่ หนอนตัวกลม (Round Worm) มีทั้ง

- สัตว์ที่อยู่ตามอิสระ เช่น หนอนในน้ำสัมสาขู
- ที่เป็นปรสิต เช่น พยาธิปากขอ พยาธิเส้นด้าย พยาธิไส้เดือนในมนุษย์ และไส้เดือนฝอยในรากพืช เป็นต้น

— โครงสร้างร่างกาย

- มีเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ช่องว่างภายในลำตัวเป็นช่องลำตัวเทียม
- มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก หัวท้ายแหลม และไม่มีข้อปล้อง
- ผิวหนังเรียบและมีคิวทิเคิล (Cuticle) ห่อหุ้มเพื่อป้องกันไม่ให้ร่างกายสูญเสียน้ำ
- มีการลอกคราบขณะกำลังเจริญเติบโต
- มีสมมาตรร่างกายแบบครึ่งซีก (Bilateral)
- กล้ามเนื้อเป็นแบบเรียงตัวตามยาว

— ระบบภายในร่างกาย

- มีทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์
- ใช้ท่อขับถ่ายข้างลำตัว (Lateral Excretory Canal) ในการขับถ่าย
- ถ้าเป็นสัตว์ที่อยู่ตามอิสระจะใช้ผิวหนังในการหายใจ แต่ถ้าเป็นปรสิตจะหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน
- มีระบบประสาทวงแหวน (Nerve Ring) อยู่รอบคอหอย และเส้นประสาทที่ทอดยาวตามหลังและท้อง
- สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ โดยตัวผู้มักมีขนาดเล็กกว่าตัวเมีย

○ ไฟลัมแอนเนลิดา (Phylum Annelida) ได้แก่ หนอนปล้อง เช่น แม่เพรียง ทากดูดเลือด ไส้เดือนดิน และปลิง

— โครงสร้างร่างกาย

- มีเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ช่องว่างภายในลำตัวเป็นช่องลำตัวแท้
- สามารถมองเห็นข้อปล้องตามลำตัวชัดเจน ภายในมีเยื่อกั้นระหว่างปล้อง
- ผิวหนังชุ่มชื้น มีคิวทิเคิล (Cuticle) และต่อมสำหรับสร้างเมือก
- มีสมมาตรร่างกายแบบครึ่งซีก (Bilateral)
- มีขาค้ำเป็นแท่ง เรียกว่า เดือย (Setae)
  - >> ในไส้เดือนดินจะใช้เดือยสำหรับการเคลื่อนที่และเจาะรู
  - >> ในแม่เพรียง หรือไส้เดือนทะเล มีเดือยและแผ่นขาหรือพาราโพเดีย (Parapodia) สำหรับเคลื่อนที่
  - >> แต่ไม่พบเดือยในปลิง

— ระบบภายในร่างกาย

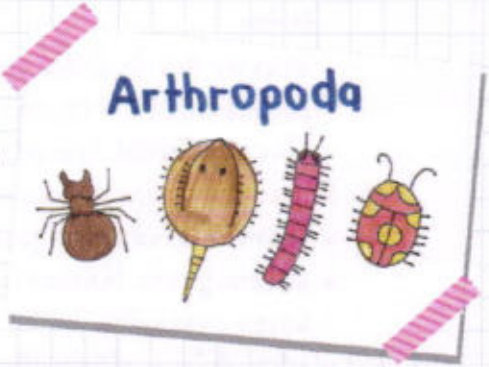
- มีทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์
- ใช้เนฟริเดียม (Nephridium) ซึ่งมีอยู่เกือบทุกปล้อง ปล้องละ 1 คู่ ในการขับถ่าย
- ใช้ผิวหนังในการหายใจ แต่ก็มีสัตว์บางชนิดที่ใช้เหงือก
- เป็นพวกแรกที่มีระบบหมุนเวียนเลือดแบบปิด และมีเฮโมโกลบิน (Hemoglobin)
- มีปมประสาท 2 พูเป็นสมอง และมีเส้นประสาทใหญ่ทอดยาวตามหลังและท้อง
  - >> ที่เส้นประสาทใหญ่บริเวณหลังจะมีปมประสาทประจำปล้อง (Segment Ganglia) ปล้องละ 1 ปม

- ส่วนใหญ่เป็นกะเทยแต่จะมีการปฏิสนธิแบบข้ามตัว
- ปลิงและทากที่ดูดเลือดสัตว์และมนุษย์จะปล่อยสาร
  >> ที่ทำให้รู้สึกชาเมื่อไม่ให้รู้ตัวและไม่รู้สึกเจ็บ
  >> และสารฮิรูดิน (Hirudin) เพื่อทำให้เลือดของผู้ถูกอาศัยไม่แข็งตัว

๐ ไฟลัมอาร์โทรโพดา (Phylum Arthropoda)

– โครงสร้างร่างกายและระบบภายในร่างกาย

- มีเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ช่องว่างภายในลำตัวเป็นช่องลำตัวแท้
- เป็นสัตว์ที่มีเปลือกแข็งหุ้มตัว (Exoskeleton) ที่เป็นสารประเภทไคติน (Chitin)
- แบ่งร่างกายออกได้เป็น 3 ส่วนชัดเจน ได้แก่ หัว (Head) อก (Thorax) และท้อง (Abdomen)
  >> แต่ถ้ามีหัวและอกรวมกัน เรียกว่า เซฟาโลทอแรกซ์ (Cephalothorax)
- มีสมมาตรร่างกายแบบครึ่งซีก (Bilateral)
- มีทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์
- มีระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิด



– จำแนกได้เป็น 6 ชั้น (Class) ดังนี้

หนวด	ขา	อื่นๆ	ชั้น
หนวด 1 คู่	6 ขา (3 คู่)	-	ชั้นอินเซกตา (Class Insecta)
	มากกว่า 6 ขา	ขาที่ปล้องปล้องละ 1 คู่	ชั้นไคโลโพดา (Class Chilopoda)
		ขาที่ปล้องปล้องละ 2 คู่	ชั้นไดโพลโพดา (Class Diplopoda)
หนวด 2 คู่	6 – 10 ขา	-	ชั้นครัสเตเชีย (Class Crustacea)
ไม่มีหนวด	8 ขา	-	ชั้นอะแรคนิดา (Class Arachnida)
	10 ขา	-	ชั้นเมอโรสโตมาตา (Class Merostomata)

1) **ชั้นอินเซกตา (Class Insecta)** ได้แก่ แมลงต่างๆ เช่น แมลงปอ ผึ้งห้อย เหาหมัด เรือด และเหลือบ

- มีหนวด 1 คู่ ส่วนหัว อก และท้องแยกจากกันชัดเจน โดยขา 3 คู่ อยู่บริเวณอก
- ส่วนมากอาศัยอยู่บนบก ใช้ท่อลม (Trachea) ในการหายใจ
- ใช้ท่อมัลพิเกียนทิวบูล (Malpighian Tubule) ที่ทางเดินอาหารในการขับถ่าย

2) ชั้นไคโลโพดา (Class Chilopoda) ได้แก่ ตะขาบ ตะเข็บ เป็นสัตว์มีพิษ

- มีหนวด 1 คู่ ลำตัวเป็นปล้อง มีขาจำนวนมากอยู่ที่ปล้อง ปล้องละ 2 ขา (1 คู่)
- อาศัยอยู่บนบก ใช้ท่อลม (Trachea) ในการหายใจ

3) ชั้นไดโพลโพดา (Class Diplopoda) ได้แก่ กิ้งกือ และกระสุนพระอินทร์

- มีหนวด 1 คู่ ลำตัวเป็นปล้อง มีขาเยอะมากอยู่ที่ปล้องละ 4 ขา (2 คู่)
- อาศัยอยู่บนบก ใช้ท่อลม (Trachea) ในการหายใจ

4) ชั้นครัสเตเชีย (Class Crustacea) ได้แก่ กุ้ง กั้ง ปู เพรียงหิน เพรียงคอห่าน ไรแดง ไรน้ำ และตัวกะปิ

- มีหนวด 2 คู่ ส่วนหัวกับอกอยู่รวมกัน เรียกว่า เซฟาโลทอแรกซ์ และอยู่ติดกับท้อง
- ส่วนมากอาศัยอยู่ในน้ำเค็ม และบนบกบ้างเล็กน้อย ใช้เหงือกในการหายใจ
- มีต่อมแอนเทนนัล (Antennal Gland) หรือต่อมเขียว (Green Gland) ที่โคนหนวดกุ้งเพื่อกำจัดของเสีย

5) ชั้นอะแรคนิดา (Class Arachnida) ได้แก่ แมงมุม แมงป่อง เห็บ ขี้ไก่ และไรฝุ่น

- ไม่มีหนวด ส่วนหัวกับอกอยู่รวมกันและติดกับท้องเหมือนพวกกุ้ง มี 8 ขา
- ส่วนมากอยู่บนบก ใช้ท่อลมหรือแผงปอด (Book Lung) ในการหายใจ เช่น แมงมุม และแมงป่อง
- บริเวณที่เป็นรยางค์มักจะเปลี่ยนไปเป็นต่อมพิษ เขี้ยวพิษ หรือเขี้ยว

6) ชั้นเมอโรสโตมาตา (Class Merostomata) ได้แก่ แมงดาทะเล

- ไม่มีหนวด ส่วนหัวกับอกอยู่รวมกันและติดกับท้อง มี 10 ขา
- มีกระดองโค้งคลุมตัวอยู่ และมีส่วนที่ยาวออกไปคล้ายหาง ใช้เหงือกในการหายใจ

๐ ไฟลัมมอลลัสกา (Phylum Mollusca) ได้แก่ หอยงวงช้าง หมึก ลิ่นทะเล ทาก รวมถึงหอยต่างๆ ได้แก่

- หอยฝาเดียว เช่น หอยทาก หอยโข่งทะเลหรือเป๋าฮื้อ
- หอยสองฝา เช่น หอยนางรม หอยเสียบ หอยแครง หอยแมลงภู่

— โครงสร้างร่างกาย

- มีเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ช่องว่างภายในลำตัวเป็นช่องลำตัวแท้
- มีร่างกายอ่อนนุ่มไม่มีปล้อง มีเยื่อแมนเทิล (Mantle) สำหรับสร้างเปลือกแข็งห่อหุ้มตัว ทำจากหินปูน
  >> ยกเว้นหมึก ที่ไม่มีเปลือกแข็งหุ้ม
- มีสมมาตรร่างกายทั้งแบบครึ่งซีก (Bilateral) เช่น หอยสองฝา และแบบไม่มีสมมาตร เช่น หอยฝาเดียว

— ระบบภายในร่างกาย

- มีทางเดินอาหารสมบูรณ์
- ใช้ไตในการขับถ่าย
- ใช้เหงือกในการหายใจ
- มีปมประสาท 3 คู่ มีเส้นประสาทตามขวางและตามยาวเชื่อมกันอยู่
- สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศด้วยการปฏิสนธิ แต่ก็มีบางชนิดเป็นกะเทย
- มีระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิด ยกเว้น หอยงวงช้าง หมึก และหมึกยักษ์ ที่มีระบบหมุนเวียนเลือดแบบปิด เลือดมีสีฟ้าอ่อน เพราะสารฮีโมไซยานิน (Hemocyanin)
- หอยฝาเดียวใช้กล้ามเนื้อเท้า (Muscular Feet) ในการเคลื่อนที่ แต่หอยฝาคู่และหมึกใช้ท่อน้ำ (Siphon) ช่วยในการเคลื่อนที่

o ไฟลัมเอไคโนเดอร์มาตา (Phylum Echinodermata) ได้แก่ สัตว์ที่อยู่ในทะเลทั้งหมด เช่น ปลิงทะเล ดาวทะเล เม่นทะเล อีแปะทะเล และพลับพลึงทะเล เป็นต้น

— โครงสร้างร่างกาย

- มีเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ช่องว่างภายในลำตัวเป็นช่องลำตัวแท้
- ไม่มีด้านหัวหรือด้านท้าย และไม่มีข้อปล้อง
- ร่างกายเป็นโครงร่างแข็งภายใน (Endoskeleton)
- ผิวหนังภายนอกสุดมีลักษณะบาง ประกอบด้วยสารคิวทิน (Cutin) ชั้นถัดมาข้างในมีลักษณะหนาเป็นหินปูน
- ในระยะเอ็มบริโอมีสมมาตรร่างกายแบบครึ่งซีก แต่เมื่อโตเต็มวัยจะเป็นแบบสมมาตรรัศมี

— ระบบภายในร่างกาย

- มีระบบสำคัญ คือ ระบบท่อน้ำ (Water Vascular System) ที่เจริญมากจากช่องลำตัว
  >> ใช้สำหรับลำเลียงสาร โดยภายในท่อน้ำจะเต็มไปด้วยน้ำเค็มจากภายนอก
  >> มีทิวบ์ฟีต (Tube Feet) จำนวนมาก ใช้ในการจับเหยื่อ เคลื่อนที่ และหายใจ
- มีทางเดินอาหารสมบูรณ์
- ไม่มีอวัยวะสำหรับขับถ่าย แต่มีอะมีโบไซต์ (Amoebocyte) ไว้จับกินของเสีย
- ส่วนใหญ่ใช้เหงือกในการหายใจ แต่ปลิงทะเลจะใช้เรสไพราทอรี (Respiratory Tree)
- มีระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิด
- ไม่มีสมองที่แท้จริง แต่มีระบบประสาทวงแหวน (Nerve Ring) และร่างแหประสาท (Nerve Net)
- สืบพันธุ์ทั้งแบบไม่อาศัยเพศและแบบอาศัยเพศ ซึ่งมีการแยกเป็นเพศผู้และเพศเมีย

๐ ไฟลัมคอร์ดาตา (Phylum Chordata)

— โครงสร้างร่างกาย

- จะต้องมีหรือเคยมีโครงสร้างเฉพาะ 4 อย่าง ดังต่อไปนี้

1) โนโตคอร์ด (Notochord)
   >> เป็นแกนตามยาวบริเวณด้านหลังของลำตัว มีความยืดหยุ่นสูง
   >> ตั้งอยู่ตรงกลางระหว่างท่อทางเดินอาหารกับท่อระบบประสาท
   >> พบในระยะเอ็มบริโอของสัตว์ในไฟลัมนี้ทุกชนิด
   >> อาจพบในตัวเต็มวัย เช่น แอมฟิออกซัส (Amphioxus) ปลาปากกลม เป็นต้น

2) ท่อประสาทกลวงที่ด้านหลัง (Dorsal Nerve Cord)
   >> พัฒนามาจากเนื้อเยื่อชั้นนอกสุด (Ectoderm)
   >> อยู่บริเวณด้านหลังของโนโตคอร์ดขณะยังเป็นเอ็มบริโอ
   >> จะพัฒนาไปเป็นสมองและไขสันหลังในที่สุด

3) ช่องเหงือกที่คอหอย (Pharyngeal Gill Slit)
   >> ไว้สำหรับกรองน้ำและอาหารที่เข้ามา โดยจะทำงานกันเป็นคู่ จะพัฒนาไปเป็นส่วนที่แตกต่างกันตามชนิดของสัตว์เมื่อโตขึ้น
   >> อาจพบว่ามีอยู่ตลอดชีวิต เช่น ปลากระเบน ปลาฉลาม

4) หางที่เป็นกล้ามเนื้อ (Muscular Tail) บริเวณด้านท้ายของลำตัว ต่อจากทวารหนัก

- โครงสร้างอื่น เช่น
  - >> มีเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ช่องว่างภายในลำตัวเป็นช่องลำตัวแท้
  - >> มีสมมาตรร่างกายแบบครึ่งซีก (Bilateral)

— ระบบภายในร่างกาย

- มีทางเดินอาหารสมบูรณ์
- ใช้ไตในการขับถ่าย
- ใช้เหงือก ผิวหนัง และปอดในการหายใจ
- มีระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิด ยกเว้นเพรียงหัวหอม
- มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศด้วยการปฏิสนธิทั้งภายในและภายนอกร่างกาย

— จำแนกออกมาเป็น

1) โพรโทคอร์เดต (Protochordate)

- เป็นสัตว์ในไฟลัมนี้ที่ยังไม่มีกระดูกสันหลัง ซึ่งเป็นโครงร่างแข็งสำหรับค้ำจุนร่างกาย
- แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่
  - >> ยูโรคอร์เดต (Urochordate) ได้แก่ เพรียงหัวหอม เพรียงลอย และเพรียงสาย
    - มีถุงที่มีสารคล้ายเซลลูโลสห่อหุ้มตัวไว้
    - เมื่อโตขึ้นโนโตคอร์ด ท่อประสาท และหางจะหลุดออก
  - >> เซฟาโลคอร์เดต (Cephalochordate) ได้แก่ แอมฟิออกซัส (Amphioxus) ที่มีโนโตคอร์ดอยู่ตลอดชีวิต

2) สัตว์มีกระดูกสันหลัง (Vertebrate)

- มีกระดูกสันหลังที่พัฒนามาจากโนโตคอร์ด รวมถึงมีสมองและกะโหลกศีรษะ
- แบ่งเป็น 2 ซูเปอร์คลาส (Superclass) ได้แก่
  - >> กลุ่มที่เป็นปลา (Superclass Pisces) แบ่งเป็น
    - ปลาปากกลม (Class Cyclostomata)
      - พบได้มากที่สุด
      - มีโนโตคอร์ดตลอดชีวิต
      - ไม่มีขากรรไกร เกล็ด และครีบคู่ มีเฉพาะครีบเดี่ยวเท่านั้น
      - มีกระดูกอ่อน
      - เป็นสัตว์เลือดเย็น บางชนิดเป็นปรสิต

- ปลากระดูกอ่อน (Class Chondrichthyes)
  - โนโตคอร์ดจะหายไปเมื่อโตขึ้น****
  - มีขากรรไกร ครีบคู่ ครีบเดี่ยว และมีเกล็ด****
  - ไม่มีกระเพาะลมในการช่วยลอยตัว****
  - เป็นสัตว์เลือดเย็น****
  - ปากอยู่ที่ท้อง เห็นเหงือกได้ชัดเพราะไม่มีแก้มปิดช่องเหงือก
  - ส่วนใหญ่ปฏิสนธิภายในร่างกาย
  - เช่น ปลากระเบน และปลาฉลาม
- ปลากระดูกแข็ง (Class Osteichthyes) มีลักษณะ
  - เหมือนปลากระดูกอ่อนในข้อที่มีเครื่องหมายดอกจัน (****)
  - ที่แตกต่างกันคือ ปากอยู่ด้านหน้าสุด มีแก้มปิดช่องเหงือก
  - ส่วนใหญ่จะปฏิสนธิภายนอกร่างกาย
  - เช่น ปลาอินทรี ปลาทู ปลาไหล และม้าน้ำ

>> กลุ่มที่เป็นสัตว์ (Superclass Tetrapoda) แบ่งเป็น

- สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ (Class Amphibia) เช่น คางคก กบ เขียด ปาด ซาลาแมนเดอร์ หรือจิ้งจกน้ำ
  - ผิวหนังเปียกชื้นตลอด ไม่มีเกล็ด
  - มีกระบวนการเจริญเติบโตแบบเมตามอร์โฟซิส (Metamorphosis)
  - ตัวอ่อนหายใจด้วยเหงือกและผิวหนัง เมื่อโตจะหายใจด้วยผิวหนังและปอด
  - ปฏิสนธิภายนอกร่างกาย มีวุ้นหุ้มไข่แทนเปลือกและมีไข่แดง
  - เป็นสัตว์เลือดเย็น
- สัตว์เลื้อยคลาน (Class Reptilia) เช่น จระเข้ เต่า งู ตุ๊กแก และกิ้งก่า
  - ผิวหนังแห้ง และมีเกล็ดหรือกระดอง
  - ไม่มีการเจริญเติบโตแบบเมตามอร์โฟซิส (Metamorphosis)
  - หายใจด้วยปอด
  - ปฏิสนธิภายในร่างกาย
  - เป็นสัตว์เลือดเย็น
- สัตว์ปีก (Class Aves) เช่น นก ไก่ และเป็ด
  - มีขน (Feather) เป็นแผงปกคลุมร่างกาย
  - กระดูกเป็นโพรง ทำให้มีน้ำหนักเบา
  - มีแต่ปากที่เป็นจะงอย แต่ไม่มีฟัน
  - หายใจด้วยปอด รวมถึงมีถุงลม (Air Sac) ช่วยให้หายใจได้ดีขึ้น

- ไม่มีหู กะบังลม และกระเพาะปัสสาวะ
- ปฏิสนธิภายในร่างกาย มีรังไข่และท่อนำไข่ข้างเดียว ภายในไข่มีไข่แดงมาก
- เป็นสัตว์เลือดอุ่น

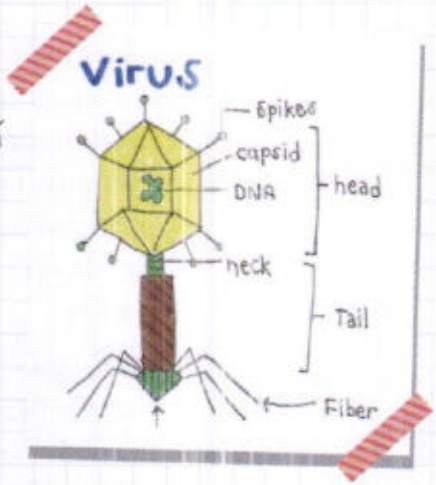
■ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Class Mammalia) เช่น มนุษย์ สุนัข แมว ช้าง ม้า วัว ควาย และลิง

- มีขนเป็นเส้น (Hair หรือ Fur)
- มีต่อมน้ำนมและต่อมเหงื่อ
- ปากไม่มีจะงอย แต่มีฟันและกล่องเสียง
- หายใจด้วยปอด รวมถึงมีกะบังลม
- ปฏิสนธิภายในร่างกาย มีรังไข่และท่อนำไข่ 2 ข้าง
- เป็นสัตว์เลือดอุ่น
- แบ่งออกเป็น

1) สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่ออกลูกเป็นไข่ เรียกว่า โมโนทรีม (Monotreme)
   - พวกนี้ไม่มีหัวนมและท่อนม แต่มีต่อมสำหรับให้นมลูกรวมถึงไม่มีมดลูก และไม่มีรก เช่น ตุ่นปากเป็ด
2) สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่ออกลูกเป็นตัว แบ่งเป็น
   - มาร์ซูเพียล (Marsupial) รกเจริญไม่ดี แต่มีถุงหน้าท้อง เช่น จิงโจ้ และ หมีโคอาลา
   - ยูเทเรียน (Eutherian) มีรกเจริญดี ใช้แลกเปลี่ยนก๊าซ และอาหารในครรภ์ เช่น ลิง วาฬ และโลมา

7. ไวรัส (Virus) ไวรอยด์ (Viroid) และพรีออน (Prions)

ไวรัส (Virus)



- มีขนาดเล็กมาก มีโปรตีนห่อหุ้มอยู่ภายนอก (Protein Coat) เรียกว่า แคปซิด (Capsid)
- ไม่มีเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell Membrane) จึงไม่จัดเป็นเซลล์
- มีกรดนิวคลีอิกชนิดดีเอ็นเอหรืออาร์เอ็นเอเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเป็นส่วนประกอบ
- เป็นปรสิตชนิดถาวร (Permanent Parasite) ต้องอาศัยในร่างของผู้ถูกอาศัย (Host) ตลอดเวลา
- เพิ่มจำนวนไวรัสด้วยการอาศัยวัตถุดิบจากร่างของผู้ถูกอาศัย
- มีโรคที่เกิดจากไวรัส เช่น
  - ในพืช ทำให้ใบของยาสูบหงิกและด่าง
  - ในสัตว์ ทำให้เป็นโรคหัด พิษสุนัขบ้า ไข้เลือดออก ไข้หวัด ไข้หวัดใหญ่ และตับอักเสบ เป็นต้น

ไวรอยด์ (Viroid)

- ขนาดเล็กกว่าไวรัส ไม่มีแม้กระทั่งโปรตีนที่ห่อหุ้ม
- มีกรดนิวคลีอิกชนิดอาร์เอ็นเอเป็นส่วนประกอบเพียงอย่างเดียว
- ทำให้เกิดโรคได้เร็วกว่าไวรัส ไวรอยด์เพียงตัวเดียวก็สามารถทำให้เป็นโรคได้
- เป็นปรสิตชนิดถาวร (Permanent Parasite) เช่นกัน
- ทำให้เกิดโรคเฉพาะในพืชเท่านั้น เช่น โรคแตงกวาผลเล็กซีด และโรคแคระแกร็นของเบญจมาศ เป็นต้น

พรีออน (Prions)

- เป็นโปรตีน ที่มีขนาดเล็กกว่าไวรัส
- มีความทนทาน ทั้งในอุณหภูมิที่ร้อนจัดหรือเย็นจัด ความแห้งแล้ง รังสียูวี และทนต่อเอนไซม์ที่ใช้ย่อยสลาย
- สามารถทำให้เกิดโรคได้ เช่น โรคสมองอักเสบแบบติดต่อ และโรควัวบ้า

บทที่ 24
นิเวศวิทยา

สิ่งมีชีวิต
(1 ตัว)

ประชากร
(1 สปีชีส์)

กลุ่มสิ่งมีชีวิต
(หลายประชากร)

ระบบนิเวศ
(กลุ่มสิ่งมีชีวิต+สภาพแวดล้อม)

ไบโอม
(รูปแบบของระบบนิเวศ)

Biosphere
(โลกของเรา)

1. ประชากร (Population)

เป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในสปีชีส์เดียวกัน

ในช่วงเวลาและถิ่นอาศัย (Habitat) เดียวกัน

มีลักษณะเฉพาะ 4 อย่าง ได้แก่

1) ขนาดประชากร (Population Size) ขึ้นอยู่กับ
- อัตราการเกิด และอัตราการตาย
- การอพยพเข้า และการอพยพออก (Immigration & Emigration)

2) ความหนาแน่นประชากร (Population Density)
- เป็นการวัดจำนวนสิ่งมีชีวิตเดียวกันต่อพื้นที่หรือต่อปริมาตร
- การวัดความหนาแน่นมี 2 ประเภท ได้แก่
  - >> วัดความหนาแน่นอย่างหยาบ → เป็นการคิดสัดส่วนพื้นที่ทั้งหมด
  - >> วัดความหนาแน่นเชิงนิเวศ → เป็นการคิดเฉพาะพื้นที่ที่สิ่งมีชีวิตนั้นอาศัยจริงๆ
- การวัดที่นิยมใช้กันหลักๆ มี 2 วิธี ได้แก่
  - >> วิธีที่ 1 การทำเครื่องหมายและจับซ้ำ (Mark & Capture Method)
    - → วิธีการวัดคร่าวๆ คือ
      - + เริ่มจากจับสัตว์รอบแรกมาทำเครื่องหมายไว้ n_1 ตัว แล้วปล่อยกลับไป
      - + จากนั้นกลับมาจับใหม่รอบสอง เป็นจำนวน X_2 ตัว
      - + นับสัตว์ที่จับมาในรอบสองว่ามีเครื่องหมายกี่ตัวให้เป็น n_2
      - + จะได้ความสัมพันธ์เพื่อนำไปเทียบประชากรจริงตามสมการ $\frac{(n_1 \times X_2)}{n_2}$
      - + ใช้วัดสิ่งที่ไม่อยู่นิ่งๆ เช่น พวกสัตว์ต่างๆ
  - >> วิธีที่ 2 การสุ่มตัวอย่างแบบวางแปลง
    - → สุ่มพื้นที่ นับแล้วเทียบบัญญัติไตรยางศ์อย่างหยาบ
    - → ใช้วัดอะไรที่มันไม่ค่อยเดินเหินไปไหน เช่น พวกต้นไม้ และเพรียงหิน

3) การแพร่กระจายของประชากร (Population Dispersion)
- พบว่าการกระจายของสิ่งมีชีวิตถูกควบคุมโดยปัจจัยจำกัด (Limiting Factors)
- แบ่งได้อย่างน้อย 3 ปัจจัย ได้แก่
  - >> ปัจจัยทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิ ค่า pH และความเข้มแสง
  - >> ปัจจัยทางชีวภาพ เช่น จำนวนผู้ล่า อาหาร ปรสิต และโรคระบาด
  - >> ปัจจัยทางภูมิศาสตร์ เช่น เดินทางไปมาสะดวกหรือไม่ หรือมีอะไรขวางทาง
- การแพร่กระจายเป็นไปได้ 3 แบบคือ
  - >> การแพร่กระจายแบบสุ่ม (Random Distribution)
    - → เป็นการแพร่กระจายที่ปัจจัยต่างๆ จะกระจายกันอย่างสม่ำเสมอ อยู่ตรงไหนก็จะเหมือนๆ กัน
  - >> การแพร่กระจายแบบกลุ่ม (Clumped Distribution)

→ เป็นการแพร่กระจายที่ปัจจัยต่างๆ มีการกระจายไม่สม่ำเสมอ บางอย่างอยู่แบบเกาะกลุ่มกัน เช่น ฝูงควาย

>> การแพร่กระจายแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution)

→ เป็นการแพร่กระจายปัจจัยที่มีความต้องการสูง (อาหาร และน้ำ) กระจายทั่วกัน สิ่งมีชีวิตจึงอยู่ห่างกัน

→ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องแข่งขันทรัพยากรกันมากมาย

4) อัตราการอยู่รอดของประชากร (Survivorship)

- สามารถอธิบายด้วยเส้นกราฟได้ 3 แบบ ได้แก่

>> แบบที่ 1 : พวกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

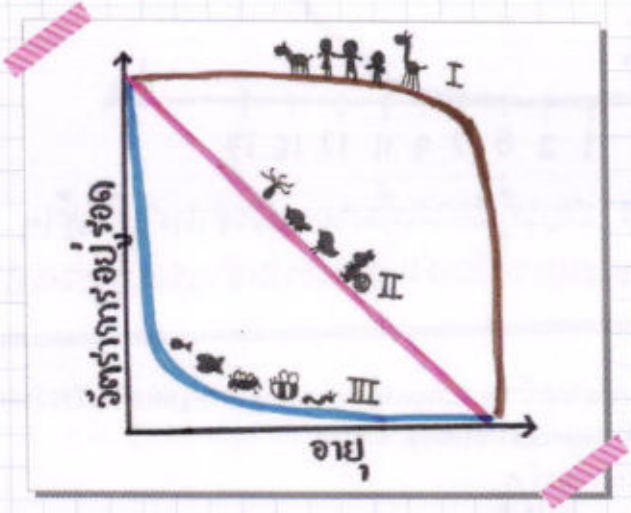
→ ช่วงแรกมีโอกาสตายต่ำ เพราะพ่อแม่ออกลูกน้อยและดูแลอย่างดี แต่ระยะหลังจึงค่อยๆ ตายเพราะความชรา

>> แบบที่ 2 : พวกไฮดราและเต่า

→ ไม่ว่าจะระยะใดอัตราการรอดชีวิตก็พอๆ กัน

>> แบบที่ 3 : พวกปลา แมลง และพืชส่วนใหญ่

→ ช่วงแรกพ่อแม่ออกลูกจำนวนมาก แต่เหลือรอดไม่มาก แต่เมื่อโตขึ้นก็เริ่มแข็งแกร่ง และตายยาก



5) รูปแบบการเพิ่มของประชากร (Population Growth Form)

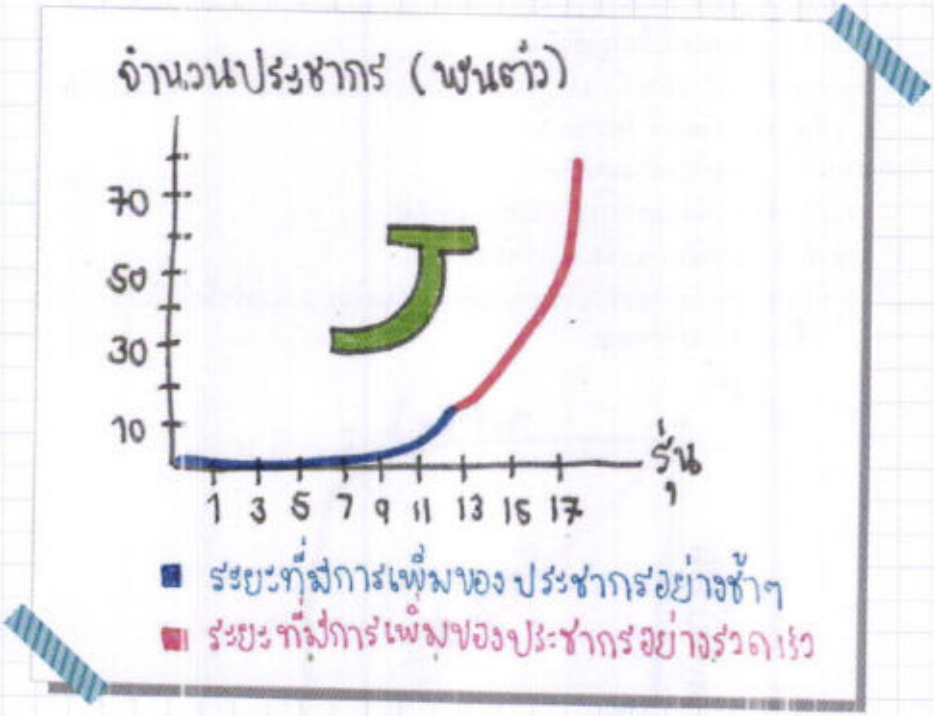
- อธิบายตามฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ แบ่งเป็น 2 ฟังก์ชัน

>> แบบที่ 1 เอ็กโพเนนเชียลโกรท (Exponential Growth) กราฟรูปตัว J แบ่งเป็น 2 ช่วง

→ ช่วงแรก : ระยะแล็ก (Lag phase) เป็นการเพิ่มอย่างช้าๆ

→ ช่วงหลัง : ระยะเอ็กโพเนนเชียลโกรท (Exponential Growth Phase) เป็นการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

* ระยะนี้เป็นระยะที่ไร้ปัจจัยจำกัด (Limiting Factors) คือ อาหารและน้ำมีเหลือเฟือ ซึ่งความจริงเป็นไปไม่ได้ เพราะธรรมชาติมีตัวต้านทานทางสิ่งแวดล้อม (Environmental resistance)
* หรือพูดอีกอย่าง คือ เมื่อมีปัจจัยจำกัดเป็นตัวต้านทานสิ่งแวดล้อมไม่ให้มีมากขึ้นไปเรื่อยๆ ส่งผลให้ปัจจัยต่างๆ เพิ่มลดสลับไปมา ทำให้อัตราการเกิดก็เพิ่มลดเช่นกัน
* ดังนั้น กราฟในช่วงปลายๆ ที่กำลังเพิ่มขึ้นจึงมีการตกลงบ้างสลับไปมาเป็นกราฟเส้นหยัก เรียกช่วงนี้ว่า การเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกัน (Irruptive Growth)



>> แบบที่ 2 แบบโลจิสติกโกรท (Logistic Growth) กราฟรูปตัว S เรียกอีกอย่างว่า กราฟซิกมอยด์ (Sigmoid) แบ่งเป็น 4 ระยะ

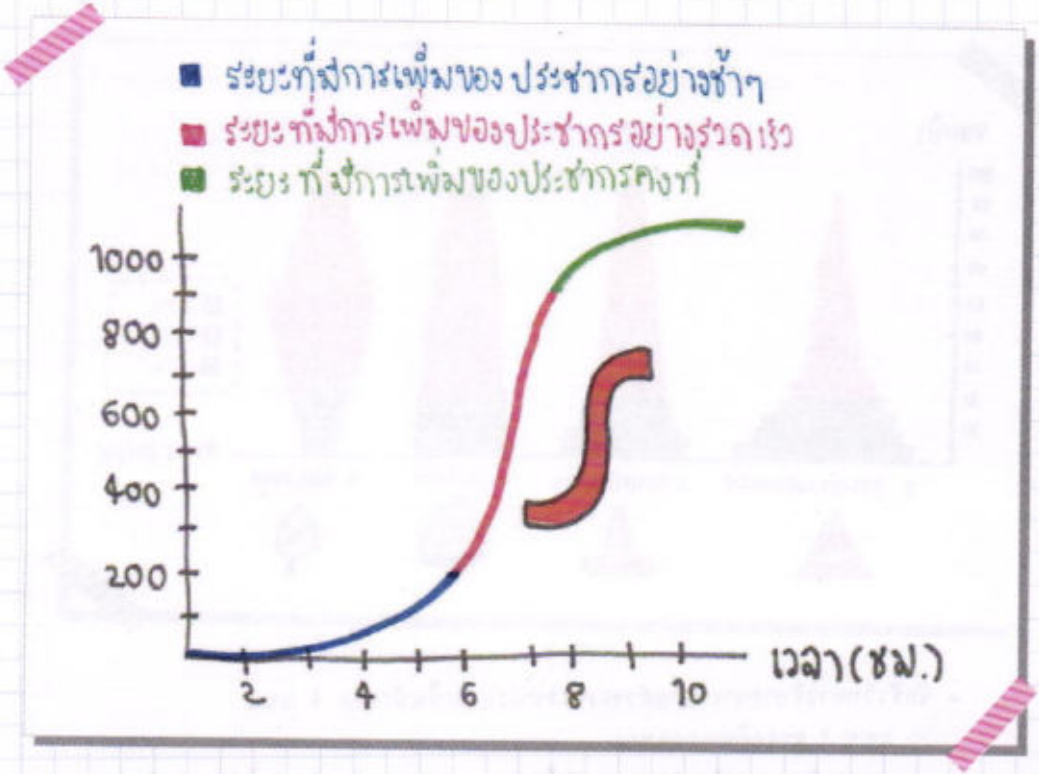
→ ระยะแรก : เพิ่มช้าๆ

→ ระยะสอง : เพิ่มเร็วขึ้น

→ ระยะสาม : กลับมาเพิ่มช้าลงๆ

→ ระยะสี่ : แทบจะไม่เพิ่มแล้ว

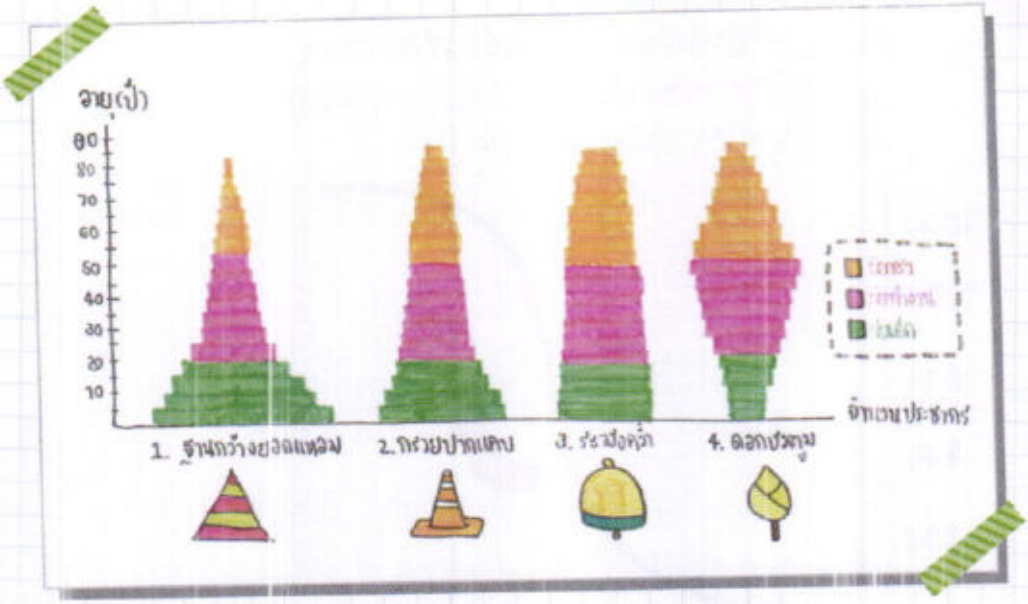
* เพราะมีปัจจัยมาจำกัดเพดานการเพิ่มขึ้นของประชากร (Limiting factors นั่นเอง)
* เราเรียกว่า 'วิสัยสามารถที่รองรับได้ (Carrying Capacity)' หรือ K เป็นตัวกำหนดว่าในสิ่งแวดล้อมใดๆ จะสามารถรองรับประชากรได้ไม่เกินเท่านี้เท่านี้



- การจะดูรูปแบบการเพิ่มของประชากรว่าเป็นแบบใด อาจจำลองจากรูปแบบการสืบพันธุ์เข้ามาช่วย เช่น
  - >> การสืบพันธุ์แบบครั้งเดียว (Single Reproduction) >> เช่น สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง และพืชล้มลุก
  - >> การสืบพันธุ์ได้หลายครั้ง (Multiple Reproduction) >> เช่น สัตว์มีกระดูกสันหลัง และพืชยืนต้น

6) โครงสร้างอายุ (Age structure)

- เป็นการใช้แผนภูมิแท่ง ในการอธิบายอัตราการเกิดและตายในช่วงวัยต่างๆ ของประชากร
- ข้อตกลงการแบ่งช่วงอายุในมนุษย์เบื้องต้น แบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่
  - >> ช่วงก่อนวัยเจริญพันธุ์ (Pre-reproductive Period) >> อายุตั้งแต่เกิดถึง 14 ปี
  - >> ช่วงวัยเจริญพันธุ์ (Reproductive Period) >> อายุตั้งแต่ 14 - 45 ปี
  - >> ช่วงหลังวัยเจริญพันธุ์ (Post-reproductive Period) >> อายุตั้งแต่ 45 ปีเป็นต้นไป



- นักชีววิทยาอธิบายการขยายตัวของประชากรออกเป็นพีระมิด 4 แบบ
  - >> แบบ 1 ฐานกว้างยอดแหลม
    - → อัตราการเกิดเพิ่มสูงมาก มีเด็กมาก อาจมาจากการคุมกำเนิดไม่ดี และมีการตายสูงร่วมด้วย เช่น ประเทศในแถบแอฟริกา
  - >> แบบ 2 กรวยปากแคบ
    - → อัตราการเกิดค่อยๆ เพิ่มขึ้น ในขณะที่อัตราการตายค่อยๆ ลดลง เช่น ประเทศไทย และสหรัฐอเมริกา
  - >> แบบ 3 ระฆังคว่ำ
    - → อัตราการเพิ่มของประชากรคงที่ไม่เพิ่มไม่ลดมาก มีผู้สูงอายุจำนวนมาก เช่น ประเทศแถบยุโรป อย่างอิตาลี สเปน และเดนมาร์ก
  - >> แบบ 4 แบบดอกบัวตูม
    - → อัตราการเกิดและการตายต่ำ ขนาดประชากรก็ลดลงเรื่อยๆ ทำให้มีแต่ผู้สูงอายุเต็มไปหมด เช่น ประเทศสิงคโปร์

2. กลุ่มสิ่งมีชีวิต

(Community) = Populations + Species Interaction

การที่ภายในสิ่งแวดล้อมหนึ่งๆ มีประชากรหลายกลุ่มมาอยู่ร่วมกัน และมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดกัน (Species Interaction)

ในกลุ่มสิ่งมีชีวิตหนึ่งๆ สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะมีความหลากหลายบางอย่างที่ต่างกัน เช่น

- หน้าที่ทางชีวภาพ (Ecological Niche)
  - เป็นการใช้ปัจจัยทั้งกายภาพ (น้ำ แสง อุณหภูมิ ค่า pH) และชีวภาพในการดำรงชีวิต
- โครงสร้างการหาอาหาร (Trophic Structure)
- มีสิ่งมีชีวิตที่โดดเด่น (Dominant) อย่างน้อย 1 ชนิด

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิด (Interaction of Species) แบ่งเป็น

- ภาวะพึ่งพากัน (Mutualism) เป็นภาวะที่สิ่งมีชีวิตช่วยเหลือกันแต่ต้องอยู่ด้วยกันตลอด แยกกันอยู่ไม่ได้เลย
  - ถ้าอยู่ด้วยกัน : +/+
  - ถ้าแยกกัน : -/-
  - ตัวอย่าง : โพรโทซัวในลำไส้ปลวก ช่วยปลวกในการย่อยเซลลูโลส (Cellulose) จากไม้ที่ปลวกกิน ทำให้ปลวกย่อยไม้ที่กินเข้าไปได้ โดยโพรโทซัวจะได้อาหารและที่อาศัยไปด้วย
- ภาวะได้ประโยชน์ร่วมกัน (Protocooperation) สิ่งมีชีวิตทั้งสองฝ่ายได้ประโยชน์จากกันและกัน แต่ถ้าไม่ได้อยู่ด้วยกันก็ไม่เป็นไร
  - ถ้าอยู่ด้วยกัน : +/+
  - ถ้าแยกกัน : 0/0
  - ตัวอย่าง : แมลงกับดอกไม้ แมลงได้น้ำหวานจากดอกไม้ ส่วนดอกไม้ก็ได้แมลงช่วยในการผสมเกสร
- ภาวะอิงอาศัย (Commensalism) สิ่งมีชีวิตที่อยู่ด้วยกันโดยที่ฝ่ายหนึ่งได้ประโยชน์ แต่อีกฝ่ายไม่ได้ประโยชน์แต่ก็ไม่เสียประโยชน์
  - ถ้าอยู่ด้วยกัน : +/0
  - ถ้าแยกกัน : -/0
  - ตัวอย่าง : ปลาฉลามและเหาฉลามที่เกาะอยู่ โดยเหาฉลามได้กินเศษอาหารจากอาหารที่ฉลามกิน แต่ฉลามก็ไม่ได้เสียประโยชน์อะไร

- ภาวะปรสิต (Parasitism) แบ่งเป็นตัวปรสิต (Parasite) และตัวผู้ถูกอาศัย (Host)
  - ตัวผู้ถูกอาศัย (Host) แบ่งเป็น
    - → Principle Host >> เป็นการที่ปรสิตเข้าไปสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศภายในผู้ถูกอาศัย (Meiotic)
    - → Intermediate Host >> เป็นการที่ปรสิตเข้าไปแล้วแบ่งตัวเฉยๆ (Mitosis)
  - ตัวปรสิต (Parasite) แบ่งเป็น
    - → Endoparasite >> เป็นปรสิตภายในร่างกาย เช่น โพรโทซัวบางชนิด แบคทีเรีย และพยาธิ
    - → Ectoparasite >> เป็นปรสิตภายนอกร่างกาย เช่น เห็บ เหา และหมัด
    - → Intracellular Parasite >> เป็นปรสิตภายในเซลล์ พวกไวรัส และไวรอยด์
  - ถ้าอยู่ด้วยกัน : -/-
  - ถ้าแยกกัน : -/0
  - ตัวอย่าง : พลาสโมเดียม (Plasmodium) เป็นโพรโทซัวที่ก่อโรคมาลาเรียเข้ามาแบ่งตัวแบบอาศัยเพศในยุงก้นปล่อง (Principle Host) และแบ่งจำนวนเพิ่มในมนุษย์ (Intermediate Host)
- ภาวะการล่า (Predation) เป็นภาวะที่ฝ่ายหนึ่งอยู่เหนือกว่าอีกฝ่ายในห่วงโซ่อาหาร
  - ถ้าอยู่ด้วยกัน : +/-
  - ถ้าแยกกัน : -/0
  - ตัวอย่าง : เสือล่ากวางในทุ่งหญ้าสะวันนา
  - แท้จริงแล้วภาวะแบบนี้มีประโยชน์
    - → เพราะช่วยให้เกิดสมดุลประชากรระหว่างผู้ล่าและผู้ถูกล่าไม่ให้มีจำนวนมากเกินกว่าสิ่งแวดล้อมจะรับได้ เช่น เสือล่ากวางจนแทบหมด กวางลดจำนวนลง เสือบางส่วนก็อดตาย
    - → กวางที่รอดก็จะเป็นกวางที่มีสายพันธุ์ที่แข็งแกร่งขึ้นเพราะพวกที่อ่อนแอถูกจับกินหมด เสือที่ไม่สามารถไล่จับกวางได้ก็จะอดตายเหลือแต่เสือที่เก่งๆ นั่นเอง
- ภาวะแก่งแย่งกัน (Competition)
  - เกิดจากทั้งสองฝ่ายต่างมีหน้าที่ทางนิเวศวิทยาเหมือนกัน จะแก่งแย่งทรัพยากรซึ่งกันและกัน
    - → ฝ่ายใดชนะก็จะมีจำนวนมากกว่า
  - เป็นภาวะที่ไม่ก่อประโยชน์แก่ใครเลย
  - ถ้าอยู่ด้วยกัน : -/-
  - ถ้าแยกกัน : 0/0
  - ตัวอย่าง : เพรียงหินสองชนิดบนโขดหินเดียวกัน หรืออาจเป็นประชากรชนิดเดียวกัน เช่น การแย่งกันล่าแซลมอนของหมีกริซลี่
- ภาวะหลั่งสารต่อต้าน (Antibiosis) ฝ่ายหนึ่งหลั่งสารบางอย่างไปกดดันฝ่ายไว้ ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตหรือเพิ่มจำนวนได้เหมือนปกติ เรียกฝ่ายที่หลั่งสารว่าฟาโทเจน (Phatogens)

- ถ้าอยู่ด้วยกัน : 0/-
- ถ้าแยกกัน : 0/0
- ตัวอย่าง : ราที่ชื่อว่าเพนิซิเลียม (Penicillium) หลั่งสารชื่อว่าเพนิซิลิน (Penicillin) ออกมากดการแบ่งตัวของเชื้อแบคทีเรีย

— ภาวะการกระทบกระเทือนกัน (Amensalism)
- คล้ายภาวะหลั่งสารยับยั้งตรงที่สิ่งมีชีวิตหนึ่งไปขัดขวางการเจริญเติบโตของอีกสิ่งหนึ่ง แต่ความสัมพันธ์นี้จะไม่มีการหลั่งสาร*
- ถ้าอยู่ด้วยกัน : +/0
- ถ้าแยกกัน : -/0
- ตัวอย่าง : ต้นไม้สูงๆ ในป่าจำนวนมากบดบังแสงแดด ทำให้ต้นไม้เตี้ยๆ ไม่ได้รับแสงแดดและตายลง

— ภาวะการย่อยสลาย (Saprophytism) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตและสิ่งที่ตายแล้ว เกิดจากสิ่งมีชีวิตจำพวกที่ปล่อยสารไปย่อยสลายซากให้อยู่ในรูปของเหลว แล้วดูดซึมกินเป็นอาหาร
- ถ้าอยู่ด้วยกัน : 0/-
- ถ้าแยกกัน : 0/0
- ตัวอย่าง : ส่วนใหญ่เป็นพวกเห็ด รา และแบคทีเรียบางชนิดที่ปล่อยเอนไซม์ย่อยออกมาข้างนอกได้

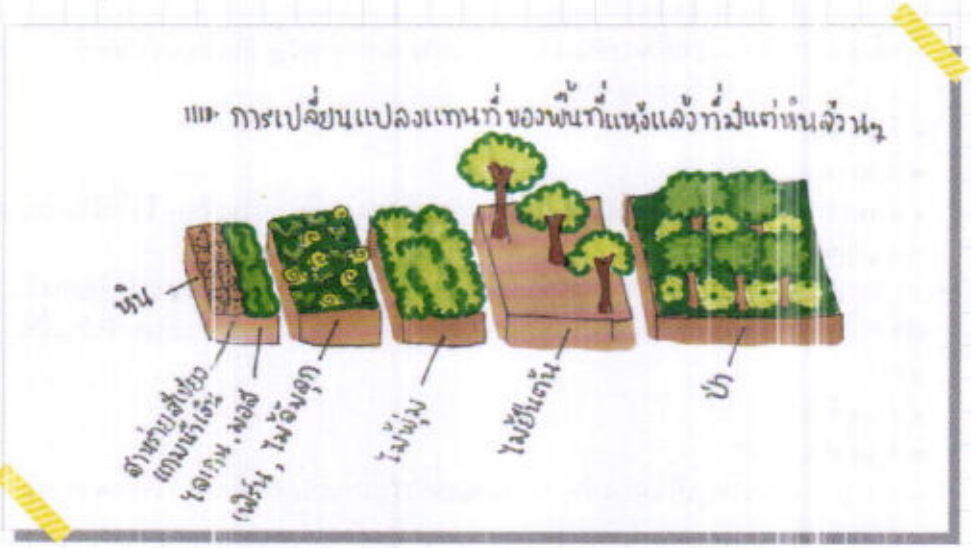
— ภาวะไม่เกี่ยวข้องกัน (Neutralism)
- เป็นภาวะที่ไม่มีปฏิสัมพันธ์กันเลย ต่างคนต่างอยู่
- ถ้าอยู่ด้วยกัน : 0/0
- ถ้าแยกกัน : 0/0
- ตัวอย่าง : นกเพนกวินกับตัวสลือธ ที่ปกติแล้วไม่ได้ข้องเกี่ยวอะไรกันเลย

การเปลี่ยนแปลงแทนที่กลุ่มสิ่งมีชีวิต (Ecological succession)

— เป็นการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศเป็นลำดับขั้นไปเรื่อยๆ จนกลายเป็น
- กลุ่มสังคมสิ่งมีชีวิตขั้นสุด (Climax Community) นั่นคือ กลุ่มสิ่งมีชีวิตที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีกแล้ว

— แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่
- การเปลี่ยนแปลงแทนที่แบบปฐมภูมิ (Primary succession)
  >> เป็นการเปลี่ยนแปลงแทนที่ในพื้นที่ซึ่งไม่มีสิ่งมีชีวิตใดเคยอาศัยมาก่อน เช่น พื้นที่ซึ่งเคยเกิดภูเขาไฟระเบิด
- การเปลี่ยนแปลงแทนที่แบบทุติยภูมิ (Secondary succession)
  >> เป็นการเปลี่ยนแปลงแทนที่ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าแบบปฐมภูมิ เพราะเริ่มในพื้นที่ซึ่งเคยมีสิ่งมีชีวิตมาก่อน เช่น บริเวณที่เคยประสบภัยธรรมชาติ หรือถูกทำลายไป

- การเปลี่ยนแปลงแทนที่กลุ่มสิ่งมีชีวิต เช่น การเปลี่ยนแปลงแทนที่ (Succession) ของพื้นที่แห้งแล้งที่มีแต่ดินกับหินล้วนๆ
  - เริ่มจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน >> ไลเคน >> มอส >> เฟิร์น >> ไม้ล้มลุก >> ไม้พุ่ม >> ไม้ยืนต้น >> ป่า



3. ระบบนิเวศ (Ecosystems)

เป็นระบบที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

- กลุ่มสิ่งมีชีวิต (Community)
- สภาพแวดล้อม (Environment)
  → โดยมีการหมุนเวียนสารและพลังงานเพื่อหล่อเลี้ยงระบบ

สภาพแวดล้อม (Environment)

- สภาพแวดล้อมขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 แบบ ได้แก่
  - ปัจจัยทางกายภาพ >> เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มแสง ความสูง และความเป็นกรด-เบส
  - ปัจจัยทางชีวภาพ >> เช่น อาหาร จำนวนผู้ล่า และเหยื่อ
- ปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อการปรับตัวของสิ่งมีชีวิต (Adaptation) เพื่อให้มีชีวิตรอดได้ในสภาพแวดล้อมนั้นๆ
  - โดยปรับ 3 ด้านหลักๆ ได้แก่

1) การปรับตัวทางสัณฐานวิทยา (Morphological Adaptation)

- เป็นการพัฒนาให้มีโครงสร้างที่เอื้อต่อการดำรงชีวิตในสภาพแวดล้อมบางอย่าง เช่น การที่กระบองเพชรมีหนามช่วยลดการสูญเสียน้ำในพื้นที่ทะเลทราย ตั๊กแตนบางชนิดมีรูปร่างเหมือนกิ่งไม้แห้งบริเวณนั้น เพื่อพรางตัวจากเหยื่อ

2) การปรับตัวทางสรีรวิทยา (Physiological Adaptation)

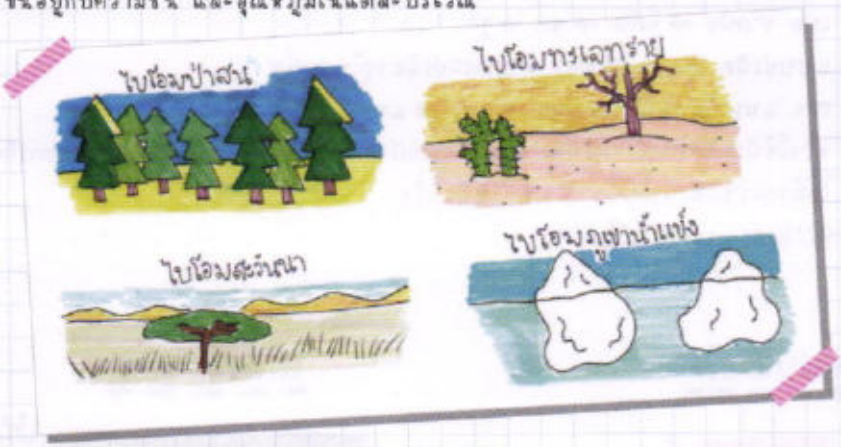
- เป็นการปรับตัวภายในระบบของร่างกาย เช่น ปลาทะเลมีต่อมเกลือไว้ขับเกลือส่วนเกินจากน้ำทะเล คางคกมีต่อมพิษเพื่อป้องกันตัวจากผู้ล่า

3) การปรับพฤติกรรม (Behavioral Adaptation)

เช่น การอพยพเปลี่ยนถิ่นฐานการหากินของสัตว์บางชนิด
การว่ายทวนน้ำไปวางไข่ในแหล่งน้ำจืดของปลาแซลมอน
การจำศีลของกบในช่วงฤดูหนาว

ไบโอม (Biome)

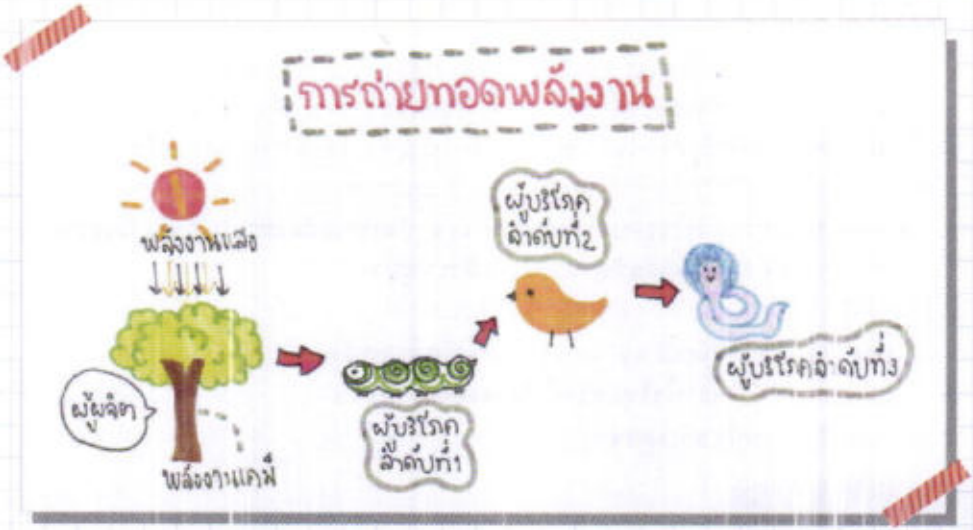
- บางครั้งรูปแบบของระบบนิเวศมีความคล้ายคลึงกัน (มีความคล้ายทางปัจจัยกายภาพ) มีการกระจายตัวอยู่ทั่วโลก
  - เราเรียกระบบนิเวศที่คล้ายๆ กันนี้ว่า ไบโอม เช่น ไบโอมของป่าผลัดใบ สะวันนา ทะเลทราย แหล่งน้ำจืด ป่าสน ซึ่งกระจายตัวอยู่หลายที่บนโลก
  - ขึ้นอยู่กับความชื้น และอุณหภูมิในแต่ละบริเวณ



โครงสร้างของระบบนิเวศที่มีผลต่อการมีชีวิต

(Essential Process for Existence) ได้แก่

- การถ่ายทอดพลังงาน (Energy Transportation)
  - เกี่ยวข้องกับลำดับการกิน (Trophic Level)
    >> เริ่มจากแสงอาทิตย์ ส่งไปขั้นสุดท้าย คือผู้ย่อยสลาย (Decomposer)

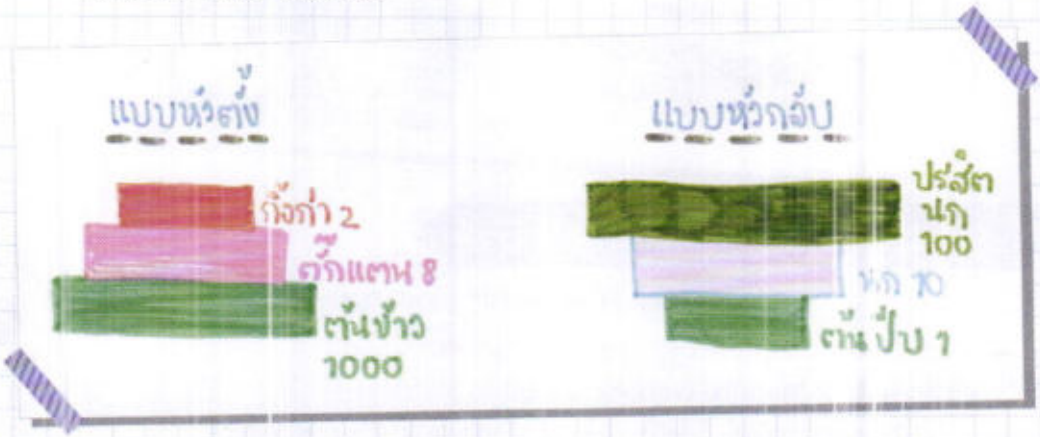


>> โดยห่วงโซ่อาหาร (Food Chain) เป็นแผนภาพที่ใช้อธิบายลำดับการกิน มี 3 แบบ

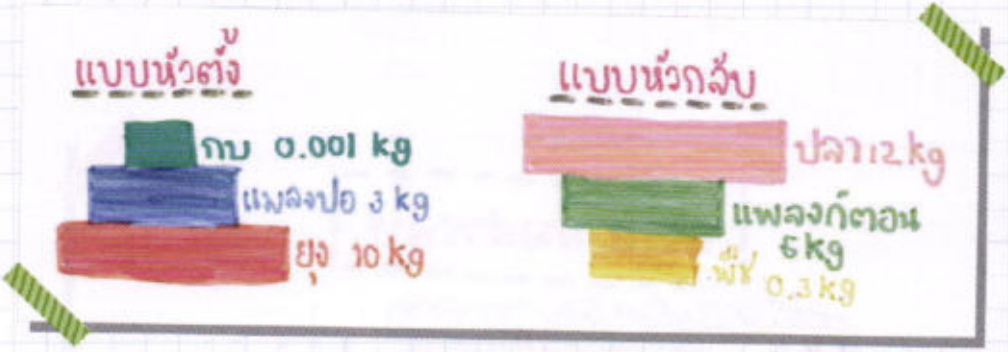
1) แบบการล่า (Predation) : เริ่มจากสิ่งมีชีวิต
   เช่น ต้นไม้ → หนอนต้นไม้ → นก → งู
2) แบบมีการย่อยสลาย (Detritus หรือ Saprophytism) : เริ่มจากซาก
   เช่น ซากพืช → กิ้งกือ → นก → งู
3) แบบปรสิต (Parasitism): พบภาวะปรสิตอยู่ในห่วงโซ่
   เช่น แพลงก์ตอนพืช → ปลา → แมว → แบคทีเรีย → ไวรัส

>> หรือใช้พีระมิดทางนิเวศวิทยา (Ecological Pyramid) ในการอธิบายลำดับการกิน ได้ด้วยเช่นกัน แบ่งเป็น 3 แบบเหมือนกัน

1) พีระมิดจำนวน (ตัว/พื้นที่)



2) พีระมิดมวลชีวภาพ (มวล/พื้นที่)



3) พีระมิดพลังงาน (ปริมาณพลังงาน/พื้นที่/เวลา)

- พลังงานที่ถ่ายทอดเป็นไปตามกฎร้อยละ 10
  >> โดยพลังงานที่ได้จากการกินจะนำไปใช้เพียงร้อยละ 10 เท่านั้น
  >> ซึ่งจะนำไปใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อและเจริญเติบโตหรือการสืบพันธุ์
  >> อีกร้อยละ 90 จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาทางสรีรวิทยา
  เช่น การขับถ่าย การหายใจ การย่อย หรือบางส่วนก็อาจไม่ได้ใช้เลย

— การสะสมสารพิษ (Biomagnification)

- สารพิษไม่สามารถถูกย่อยสลายในระบบย่อยอาหารได้
- เพราะฉะนั้นเมื่อห่วงโซ่อาหารยาวขึ้น สารพิษจะยิ่งถูกสะสมมากขึ้น เช่น การสะสมสารปรอทของปลาทะเลขนาดใหญ่
  >> ปลาฉลามมีปริมาณปรอทสูงมาก เพราะอยู่ท้ายสุดของห่วงโซ่อาหาร

การสะสมสารพิษ
สารปรอท
ห่วงโซ่อาหาร
ปริมาณสารปรอทที่ได้รับ

— การหมุนเวียนสาร (Material Cycle)

- เป็นปรากฏการณ์ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต
  - >> โดยจะมีการหมุนเวียนของสสารผ่านเข้า - ออกสิ่งแวดล้อมเป็นวัฏจักรไปเรื่อยๆ เช่น วัฏจักรของไนโตรเจน (Nitrogen cycle)
  - >> ไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบสำคัญของหมู่อะมีโน ($-NH_2$)
    - → ซึ่งเป็นส่วนประกอบพื้นฐานของโปรตีนและกรดนิวคลีอิกอย่างดีเอ็นเอ
  - >> แม้ว่าในบรรยากาศจะประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจนถึงร้อยละ 71 โดยประมาณ
    - → แต่ไนโตรเจนเหล่านี้อยู่ในสถานะก๊าซ (N_2) ที่ไม่สามารถดึงไปใช้ได้ทันที
  - >> นั่นเป็นเพราะพืชสามารถดูดซึมไนโตรเจนได้เพียง 2 รูปแบบเท่านั้น คือ
    - → รูปไนเตรท (NO_3^-) และรูปแอมโมเนีย (NH_4^+)
    - → ซึ่งต้องอาศัยจุลชีพบางชนิดในการเปลี่ยนจากก๊าซไนโตรเจนให้อยู่ในรูปที่พืชดูดซึมไปใช้ได้
    - → โดยจุลชีพเหล่านี้สามารถแบ่งได้ 4 จำพวก ได้แก่

1) Nitrogen-Fixing Bacteria

- ใช้ในกระบวนการตรึงไนโตรเจน (Nitrogen Fixation)
- เป็นแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนจากอากาศโดยตรงให้เป็นสารที่ใช้ดูดซึมได้
- กลไก คือ เปลี่ยนก๊าซไนโตรเจน (N_2) เป็นไนเตรทหรือแอมโมเนีย เช่น Anabaena ในแหนแดง Nostoc ในรากปรง Oscillatoria และ Rhizobium ในปมรากของถั่ว

2) Ammonifying Organism

- ใช้ในกระบวนการเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนีย (Ammonification)
- โดยผู้ย่อยสลาย ได้แก่ พวกแบคทีเรียหรือฟังไจ
- กลไก คือ เปลี่ยนซากพืชซากสัตว์ให้อยู่ในรูปแอมโมเนีย เช่น Pseudomonas

3) Nitrifying Bacteria

- ใช้ในกระบวนการเปลี่ยนเกลือแอมโมเนียเป็นไนไตรท์และไนเตรท (Nitrification)
- กลไก คือเปลี่ยนแอมโมเนีย (NH_4^+) เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) แล้วเปลี่ยนอีกทีเป็นไนเตรท (NO_3^-) ให้พืชดูดซึมไปใช้ เช่น Nitrosomonas

4) Denitrifying Bacteria

- ใช้ในกระบวนการเปลี่ยนไนเตรทกลับเป็นก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศ (Denitrification)
- กลไก คือ ย้อนจากแอมโมเนีย (NH_4^+) ให้เป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) คืนสู่บรรยากาศ เช่น Thiobacillus, Micrococcus

4. บทบาทของสิ่งมีชีวิต (Ecological niche)

แบ่งออกเป็น

- ผู้ผลิต (Autotroph หรือ Producer)
  - เป็นสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารได้เอง
    เช่น สาหร่าย พืช
- ผู้บริโภค (Heterotroph หรือ Consumer)
  - เป็นสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารเองไม่ได้
  - แบ่งตามสิ่งที่กินได้เป็น
    a. ผู้บริโภคพืช (Herbivore)
    b. ผู้บริโภคสัตว์ (Carnivore)
    c. ผู้บริโภคทั้งพืชและสัตว์ (Omnivore)
    d. ผู้บริโภคซาก แบ่งออกเป็น
      >> Detritivore >> เป็นพวกที่กินทั้งซากพืชและซากสัตว์ เช่น ไส้เดือน หอย และปู
      >> Scavenger >> เป็นพวกกินแต่ซากสัตว์ เช่น นกแร้ง มังกรโคโมโด และไฮยีน่า
- ผู้ย่อยสลายสารอินทรีย์ (Decomposer)
  - เป็นพวกเห็ด รา และแบคทีเรีย โดยจะหลั่งสารออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์แล้วดูดซึม

5. ความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม (Environmental Sustainability)

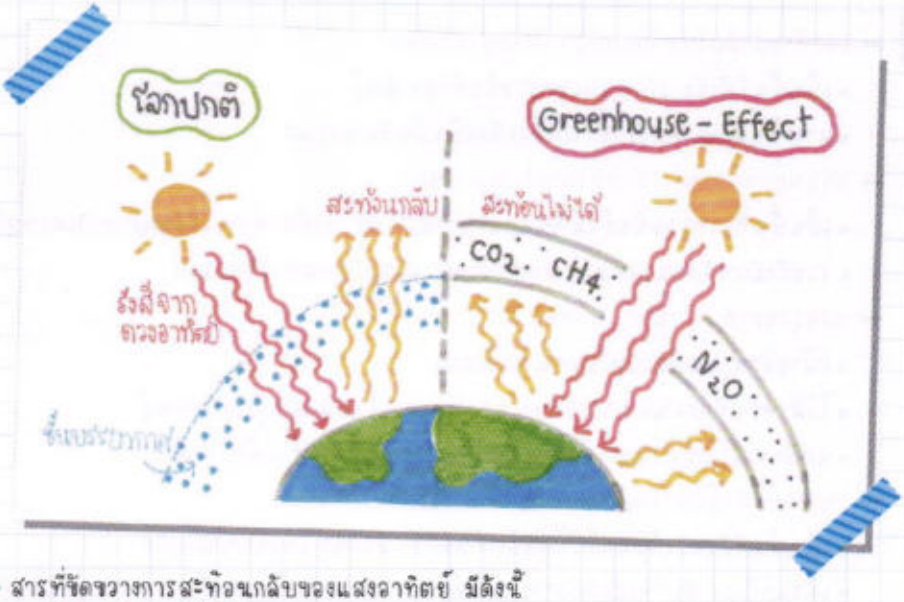
ทรัพยากรของธรรมชาติ

แบ่งได้ 3 แบบ ได้แก่

- แบบใช้แล้วหมดไป >> เช่น แร่ธาตุ และเชื้อเพลิง
- แบบใช้แล้วทดแทนได้ >> เช่น ดิน พืช และสัตว์
- แบบใช้ได้ไม่จำกัด >> เช่น อากาศ น้ำ และแสงแดด

ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect)

- สาเหตุเกิดจาก
  - แสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกไม่เกิดการสะท้อนกลับ เพราะมีสารบางชนิดขัดขวางกระบวนการสะท้อนกลับของแสง
    >> ทำให้เกิดการสะสมความร้อนไว้ภายในชั้นบรรยากาศโลก



- สารที่ขัดขวางการสะท้อนกลับของแสงอาทิตย์ มีดังนี้
  - คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)
    - >> เป็นสารที่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น การเผาป่า การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง
    - >> สารนี้มีผลต่อการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกมากที่สุด
  - คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (Chlorofluorocarbon) หรือซีเอฟซี (CFC)
    - >> เป็นสารสังเคราะห์ที่มีอยู่ในโฟม ตู้เย็น เครื่องทำความเย็น สารจำพวกสเปรย์
    - >> มีผลรองลงมา
  - ก๊าซมีเทน (CH_4)
    - >> เกิดจากการย่อยสลายของซากพืชและสัตว์ เช่น จากการทำนาข้าว การทำปศุสัตว์
    - >> สารนี้มีผลน้อยที่สุดในบรรดาสารทั้งสามชนิด
    - >> สรุป CO_2 > CFC > CH_4

ป่าอนุรักษ์ แบ่งเป็น

- อุทยานแห่งชาติ (National Park)
  - เป็นที่ดินขนาดใหญ่ รวมถึงภูเขา ห้วย หนอง คลอง บึง บาง (ทางน้ำขนาดเล็ก) ลำน้ำ ทะเลสาบ เกาะ และที่ชายทะเล
  - เป็นบริเวณที่สงวนไว้ ให้มีลักษณะตามธรรมชาติตลอดไป โดยอุทยานแห่งชาติที่แรก คือ เขาใหญ่
- วนอุทยาน (Forest Park)
  - เป็นพื้นที่ป่าขนาดเล็กใกล้แหล่งชุมชนจัดไว้สวยงามให้ประชาชนมาพักผ่อน
  - หากมีงบประมาณเพียงพอ อาจจัดตั้งให้เป็นอุทยานแห่งชาติต่อไป

- เขตห้ามล่าสัตว์ป่า (Non-Hunting Area)
  - เป็นพื้นที่ซึ่งมีการกำหนดเขตสำหรับห้ามล่าสัตว์
  - อาจเป็นสถานที่ทางราชการหรือเพื่อเป็นพื้นที่สาธารณะ
- สวนพฤกษศาสตร์ (Botanical Garden)
  - เป็นพื้นที่รวบรวมพันธุ์ไม้ทั้งในและต่างประเทศ ทั้งที่หายากและมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ
  - รวมถึงมีการจัดหมวดหมู่ไว้เพื่อการศึกษา และเพื่อการทำวิจัยต่อไป
- สวนรุกขชาติ (Arboretum)
  - คล้ายสวนพฤกษศาสตร์แต่ขนาดเล็กกว่า
  - ไว้สำหรับพักผ่อนมากกว่าศึกษาเพราะไม่มีการจัดหมวดหมู่ของพืชพันธุ์
  - แต่มีการสร้างถนนและเส้นทางศึกษาธรรมชาติไว้สำหรับให้ศึกษาบ้าง
- เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า (Wildlife Sanctuary)
  - เป็นพื้นที่สำหรับให้สัตว์ป่าได้มีโอกาสขยายเผ่าพันธุ์ได้อย่างปลอดภัย
  - เพื่อแก้ปัญหาสัตว์ที่เสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ และนำไปสู่การกระจายประชากรไปยังพื้นที่ข้างเคียง
- พื้นที่อนุรักษ์ธรรมชาติ (Natural Conservation Area)
  - พื้นที่ธรรมชาติที่มีคุณค่าในการอนุรักษ์ไว้ ทั้งเพื่อประโยชน์ต่อสังคมและเศรษฐกิจของประเทศ
    >> โดยอาจเป็นเกาะ แก่ง ภูเขา หนอง บึง ทะเลสาบ ชายหาด ซากดึกดำบรรพ์ และธรณีสัณฐาน
- พื้นที่สงวนชีวาภิบหรือพื้นที่สงวนชีวมณฑล (Biosphere Reserve)
  - เป็นพื้นที่ที่รักษาสังคมของพืชและสัตว์ไว้ให้เป็นไปตามธรรมชาติ เพื่อเป็นประโยชน์ในการศึกษา
  - พื้นที่สงวนชีวมณฑลของประเทศไทยในเครือข่ายพื้นที่สงวนชีวมณฑล มี 4 แห่ง ได้แก่
    1) ป่าชายเลน จังหวัดระยอง
    2) สวนสัก-ห้วยทาก จังหวัดลำปาง
    3) แม่สา-ห้วยคอกม้า จังหวัดเชียงใหม่
    4) สะแกราช และสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา
- แหล่งมรดกโลก (World Heritage Site)
  - สถานที่อันโดดเด่นและมีคุณค่า โดยอาจเกิดจากมนุษย์หรือธรรมชาติสร้างขึ้น
    >> อาจเป็นป่าไม้ ภูเขา ทะเลสาบ ทะเลทราย อนุสาวรีย์ สิ่งก่อสร้าง หรือเมืองต่างๆ
  - แหล่งมรดกโลกในประเทศไทยที่ประกาศโดยยูเนสโก (UNESCO) มี 5 แห่ง ได้แก่

1) สุโขทัย-อุทยานประวัติศาสตร์ศรีสัชนาลัย
2) พระนครศรีอยุธยา
3) แหล่งโบราณคดีบ้านเชียง จังหวัดอุดรธานี
4) เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าทุ่งใหญ่นเรศวรและห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี
5) เขาใหญ่-ผืนป่าดงพญาเย็น

- ป่าชายเลนอนุรักษ์ (Conservation Mangrove Forest)
  - เป็นพื้นที่ป่าชายเลนซึ่งปล่อยไว้ตามธรรมชาติ เพื่อรักษาสภาพแวดล้อมและระบบนิเวศ

ชนิดพันธุ์แปลกถิ่น (Alien Species หรือ Exotic Species) แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

- แบบรุกราน (Invasive Alien Species) คือสายพันธุ์ที่เข้ามาอยู่แล้วทำร้ายพันธุ์พื้นเมือง เช่น ปลาชัคเกอร์ที่เข้ามาในประเทศไทยแล้วไล่กินปลาเล็กปลาน้อยหายหมด
- แบบไม่รุกราน (Non-Invasive Alien Species) คือสายพันธุ์ที่เข้ามาอยู่อย่างเป็นมิตรกับพันธุ์พื้นเมือง

สัตว์ป่าสงวน 15 ชนิด ได้แก่

แรด	ควายป่า	เลียงผา	สมเสร็จ	นกเจ้าฟ้าหญิงสิรินธร
กระซู่	ละอง	กวางผา	พะยูน	นกแต้วแร้วท้องดำ
กูปรี	สมัน	เก้งหม้อ	แมวลายหินอ่อน	นกกระเรียน

มลพิษทางน้ำ

- การวัดคุณภาพน้ำ
  - ค่า DO
    >> เป็นปริมาณของออกซิเจน (O_2) ที่ละลายในแหล่งน้ำ ยิ่งมีค่ามากยิ่งดี
    >> ปกติจะอยู่ที่ 3 มิลลิกรัม/ลิตร ขึ้นไป ถ้าน้อยกว่านี้น้ำจะเน่า
  - ค่า BOD
    >> เป็นปริมาณของออกซิเจน (O_2) ที่แบคทีเรียใช้ในการสลายสารอินทรีย์ ถ้ามีค่ามากจะไม่ดี
    >> เพราะมีสารอินทรีย์ที่ต้องสลายจำนวนมาก เช่น ซากพืชซากสัตว์เน่า
    >> น้ำจะเสียถ้าค่านี้มากกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร

— แบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์

- แบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจน (Aerobic Bacteria)
  - → ใช้ออกซิเจน (O_2) ย่อยสลายสารได้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) กับน้ำ ซึ่งไม่ก่อมลพิษเพิ่ม
- แบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศ (Anaerobic Bacteria)
  - → ไม่ใช้ออกซิเจน (O_2) แต่ใช้สารอื่นย่อยแทน เช่น มีเทน (CH_4) แอมโมเนีย (NH_4) และก๊าซไข่เน่า หรือไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ได้สารผลิตภัณฑ์ที่ทำให้น้ำมีกลิ่นเหม็น
  - → ยิ่งออกซิเจน (O_2) ในน้ำมีน้อย กลิ่นเหล่านี้จะฉุดขึ้นมากเพราะมีปริมาณสารดังกล่าวเพิ่มขึ้น
- แบคทีเรียที่เจริญโตได้ทั้งในสภาพที่มีหรือไม่มีออกซิเจน (Facultative Bacteria)
  - → จะใช้ออกซิเจน (O_2) ก็ต่อเมื่อมีปริมาณออกซิเจนมาก หากมีปริมาณน้อยจะไม่ใช้ออกซิเจน

— สมดุลของแหล่งน้ำขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยต่อไปนี้ ถ้าปัจจัยใดลดลงก็จะมีผลไปจุดตัวที่เหลือ

1) ปริมาณสารอินทรีย์
2) ปริมาณออกซิเจน (O_2)
3) ปริมาณแบคทีเรียที่ย่อยสลาย

→ กลไก คือ ปริมาณสารอินทรีย์กำหนดปริมาณออกซิเจน (O_2) ซึ่งไปกำหนดปริมาณแบคทีเรียอีกที

— ค่าที่บ่งบอกถึงความเสื่อมสภาพของน้ำ

- ค่า COD
  - → เป็นค่าที่บอกว่าการสลายสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำนี้จะต้องใช้ปริมาณออกซิเจน (O_2) เท่าไร
  - → แต่ถ้ามีค่ามากก็ไม่ดี เพราะแสดงว่ามีสารอินทรีย์มากไป
  - → โดยทั่วไปแล้วค่า COD จะมากกว่าค่า BOD เสมอในแหล่งน้ำที่ปกติ

— ตัวอย่างของการเสียสมดุลในแหล่งน้ำ

- ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)
  - → เมื่อซักผ้าแล้วเทน้ำจากการซักผ้าที่มีผงซักฟอกละลายอยู่ซึ่งมีปริมาณฟอสเฟตสูง
    - >> จะทำให้มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายและพืชน้ำอย่างรวดเร็ว (Bloom)
    - >> จากนั้นพวกมันจะโตไปปิดผิวน้ำ จนแดดไม่สามารถส่องถึงสารอินทรีย์ใต้ผิวน้ำ
    - >> ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจน (O_2) ลดต่ำลงเรื่อยๆ และเกิดน้ำเสียในที่สุด

บทที่ 25
วิวัฒนาการ

1. ภาพรวม

วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

- เป็นการเปลี่ยนแปลงทีละนิดจากสิ่งมีชีวิตแบบเดิมเป็นระยะเวลานานจนกลายเป็นสิ่งมีชีวิตที่แตกต่างไป
- เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของทั้งสิ่งแวดล้อมและพันธุกรรม
  - สาเหตุที่ต้องศึกษาวิวัฒนาการ เพราะวิวัฒนาการทำให้เราเข้าใจพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด
  - หลักของวิทยาศาสตร์ชีวภาพทุกสาขา ทำให้เรารู้จักต้นกำเนิดรวมถึงความแตกต่าง และความคล้ายของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด ทำให้เราเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่ส่งต่อกันทางกรรมพันธุ์และสิ่งแวดล้อม
  - จึงถือว่าวิวัฒนาการเป็นสิ่งสำคัญในการทำความเข้าใจธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย

2. หลักฐานทางวิวัฒนาการ

หลักฐานจากซากดึกดำบรรพ์ของสิ่งมีชีวิต

- อายุชั้นหินคำนวณหาได้จากซากดึกดำบรรพ์ (Fossil) ที่พบในชั้นหิน ซึ่งจะมีอายุเท่ากับอายุหินในชั้นนั้น
  - ด้วยการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน-14 (^{14}C) ซึ่งเป็นธาตุกัมมันตรังสีที่เหลืออยู่ในซากนั้น
- บรรพชีวินวิทยา (Palaeontology) เป็นแขนงหนึ่งของวิชาธรณีวิทยา ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับซากดึกดำบรรพ์
- โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นซากดึกดำบรรพ์ของสิ่งมีชีวิตที่โบราณที่สุด

หลักฐานกายวิภาคเปรียบเทียบ

- สัตว์หลายชนิดมีโครงสร้างบางอย่างคล้ายคลึงกันแต่ทำหน้าที่ต่างกัน
  - เรียกว่า โครงสร้างโฮโมโลกัส (Homologous Structure)
    เช่น แขนมนุษย์ ครีบวาฬ และปีกค้างคาว ซึ่งเจริญมาจากกระดูกคู่หน้าของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม
- ส่วนโครงสร้างที่ดูแตกต่างกันแต่มีหน้าที่เหมือนกัน
  - เรียกว่า โครงสร้างแอนาโลกัส (Analogous Structure)
    เช่น ปีกแมลงและปีกค้างคาว ซึ่งใช้บินเหมือนกัน แต่มีโครงสร้างไม่เหมือนกัน

หลักฐานจากการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ (หลักฐานทางคัพภวิทยา)

- เป็นการดูความใกล้เคียงกันของเอ็มบริโอของสัตว์แต่ละชนิดว่าเหมือนหรือต่างกันแค่ไหน
  - เรียกว่า ทฤษฎีการย้อนลักษณะ (Theory of Recapitulation)
- เป็นการย้อนรอยความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของบรรพบุรุษของสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ

หลักฐานด้านชีววิทยาระดับโมเลกุล

- ลำดับเบสในดีเอ็นเอของสิ่งมีชีวิตนั้นมีความเกี่ยวข้องกับระดับกรดอะมิโนในสายโปรตีน
  - เชื่อว่าถ้าลำดับเบสเปลี่ยน ลำดับกรดอะมิโนก็จะเปลี่ยน จึงทำให้สิ่งมีชีวิตมีลักษณะเปลี่ยนไปด้วย
- ดังนั้นถ้าเรานำลำดับเบสมาเปรียบเทียบกัน ก็จะทำให้เรารู้เกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต
  - เพราะลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตมีความสัมพันธ์กับโมเลกุลของสารเคมีชนิดนี้

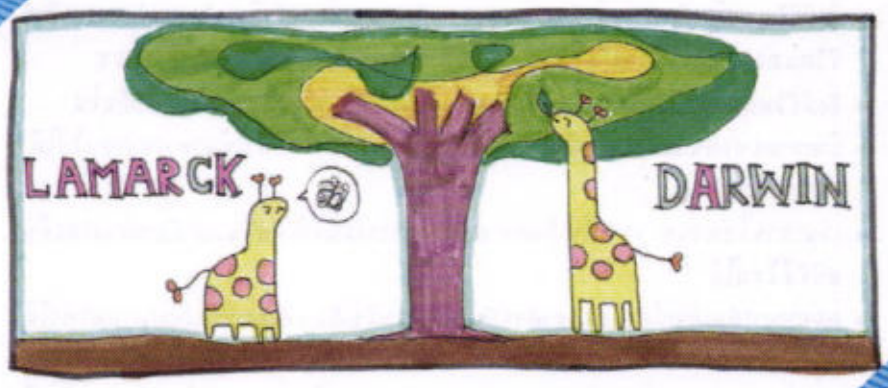
หลักฐานจากการคัดเลือกและปรับปรุงสายพันธุ์ของพืชและสัตว์

- เป็นการเปลี่ยนแปลงโดยการคัดเลือกพันธุ์และปรับปรุงพันธุ์ของพืชและสัตว์โดยมนุษย์
- แต่แท้จริงแล้วสิ่งมีชีวิตอาจเปลี่ยนแปลงได้เอง แต่จะใช้เวลานานกว่ามากและจะถูกกำหนดโดยธรรมชาติ
- พืชที่มีการปรับปรุงพันธุ์ในปัจจุบัน เช่น ข้าวโพด มะเขือเทศ มะละกอ และมันฝรั่ง

หลักฐานทางชีวภูมิศาสตร์

- เนื่องจากแต่ละประเทศมีลักษณะภูมิอากาศและภูมิประเทศแตกต่างกัน
  - ทำให้เกิดการกระจายของสิ่งมีชีวิตที่แตกต่างกันไปตามความเหมาะสมของสภาพแวดล้อม
- จากการแบ่งแยกนี้เอง ทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ใหม่มากมาย

3. ทฤษฎีวิวัฒนาการ



- แนวคิดของชอง ลามาร์ก (Jean Lamarck)
  - มีกฎ 2 ข้อ ได้แก่
    1) กฎการใช้และไม่ใช้ (Law of Use and Disuse)
       - สิ่งแวดล้อมมีผลต่อโครงสร้างของสัตว์ โดย
         >> อวัยวะใดใช้บ่อยจะใหญ่ขึ้น เช่น เมื่อก่อนยีราฟคอสั้น แต่ต้องกินใบไม้จากที่สูง ทำให้คอยาวขึ้น
       - อวัยวะที่ไม่ค่อยได้ใช้จะเสื่อมสภาพและหายไปในที่สุด เช่น เมื่อก่อนงูมีขา แต่การเลื้อยให้เร็วไม่ต้องใช้ขา
    2) กฎแห่งการถ่ายทอดลักษณะที่เกิดขึ้นใหม่ (Law of Inheritance of Acquired Characteristics)
       - จะเกิดการส่งต่ออวัยวะที่เปลี่ยนไปหรือหายไปสู่รุ่นลูกรุ่นหลานต่อไปได้ผ่านทางพันธุกรรม
  - มีข้อโต้แย้งกล่าวว่า
    - → กฎข้อที่ 1 ไม่สามารถใช้ได้กับสิ่งมีชีวิตที่เป็นพืช
    - → ออกัส ไวส์มาน (August Weisman) ได้คัดค้านกฎข้อที่ 2
      - โดยทดลองตัดหางหนู 20 รุ่น แล้วพบว่าหนูทุกรุ่นยังมีหางยาวเหมือนเดิม ซึ่งขัดกับกฎข้อ 2
- แนวคิดของชาลส์ ดาร์วิน (Charles Darwin) บิดาแห่งทฤษฎีวิวัฒนาการ
  - แนวคิดของเขา เรียกว่า ทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติ (Theory of Natural Selection)

→ มีหลักการ ดังนี้

- สิ่งมีชีวิตจะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วแบบอนุกรมเรขาคณิต ในขณะที่ทรัพยากรมีจำนวนจำกัด
- สิ่งมีชีวิตจะต้องมีการต่อสู้เพื่อการอยู่รอด (Struggle of Existence) เพราะสิ่งมีชีวิตแต่ละรุ่นมีจำนวนเกือบคงที่ ทำให้สิ่งมีชีวิตจำนวนหนึ่งต้องตายไปก่อน
- สิ่งมีชีวิตแต่ละสปีชีส์มีความแปรผัน (Variation) ของลักษณะแตกต่างกันไป
- ถ้าความแปรผันของลักษณะใดเหมาะสมต่อสิ่งแวดล้อมก็จะทำให้สามารถส่งต่อไปได้ (Selection)
- เวลาผ่านไปนานๆ จะทำให้เกิดความแตกต่างของสปีชีส์เดิมขึ้นและมีมากจนเกิดเป็นสปีชีส์ใหม่ได้
- ผลจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติจะทำให้มีการปรับตัว (Adaptation) และทำให้เกิดวิวัฒนาการต่อไป

→ เช่น เมื่อก่อนยีราฟมีทั้งคอสั้นและคอยาว แต่ยีราฟคอสั้นถูกคัดเลือกโดยธรรมชาติว่าไม่เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมจึงต้องสูญพันธุ์ไปในที่สุด

4. กลไกของวิวัฒนาการ

พันธุศาสตร์ประชากร

- เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความถี่ของยีนหรืออัลลีล (Allele Frequency) ในยีนพูล (Gene Pool)
- ยีนพูล (Gene Pool) หรือ กลุ่มของยีน
  - เป็นยีนทั้งหมดที่อยู่ในประชากรกลุ่มหนึ่ง
  - ยีนพูล ประกอบด้วยอัลลีล (Allele) จากทุกยีนของสมาชิกทุกตัวในกลุ่มประชากรนั้น
  - ปกติแล้วในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตมีโครโมโซม 2 ชุด เรียกว่า ดิพลอยด์ (Diploid) และแต่ละยีนจะมี 2 อัลลีล
- กฎของฮาร์ดีและไวน์เบิร์ก (Hardy-Weinberg Equilibrium)
  - หลักการ คือ จำนวนความถี่ของอัลลีลและความถี่ของจีโนไทป์ในยีนพูลของประชากรจะคงที่เสมอ...
    - → ถ้าประชากรมีสมบัติ ดังนี้...
      - >> ประชากรมีขนาดใหญ่
      - >> การผสมพันธุ์เป็นแบบสุ่ม ไม่มีการเจาะจงคู่

>> ไม่มีความแปรผันทางพันธุกรรม (Mutation)

>> ไม่มีการคัดเลือกตามธรรมชาติ (Natural Selection)

>> ไม่มีการอพยพเข้าและอพยพออก (Migration)

- ความถี่ของอัลลีล (Allele Frequency)
  - เป็นอัตราส่วนของอัลลีลชนิดหนึ่งต่อจำนวนของอัลลีลทั้งหมดในยีนพูล
- ความถี่ของจีโนไทป์ (Genotype Frequency)
  - เป็นอัตราส่วนของจีโนไทป์ชนิดใดชนิดหนึ่งต่อจำนวนจีโนไทป์ทั้งหมดในประชากร
- ประชากรที่มีอัตราส่วนของยีนและจีโนไทป์คงที่
  - เรียกว่า ประชากรที่สมดุล (Equilibrium Population)
- จากสมดุลของฮาร์ดีและไวน์เบิร์ก สามารถหาความถี่ของจีโนไทป์ได้จากความถี่ของอัลลีล
  - โดยสมมติว่ายีน 1 คู่ ซึ่งมี 2 อัลลีล คือ A และ a ความถี่อัลลีล เป็น p และ q ตามลำดับ

    >> ดังนั้น $p + q = 1$

    อัตราส่วนของจีโนไทป์ในรุ่นลูกจึงได้จากการคูณกันระหว่างอัตราส่วนของหน่วยสืบพันธุ์ของพ่อและแม่

    >> จะได้ $(p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2 = 1$

    ดังนั้น ความถี่จีโนไทป์ $AA = p^2$ ความถี่จีโนไทป์ $Aa = 2pq$ ความถี่จีโนไทป์ $aa = q^2$

  - ตัวอย่าง ประชากรจังหวัดหนึ่งซึ่งอยู่ในสมดุลของฮาร์ดีและไวน์เบิร์ก มีจำนวน 10,000 คน มีผู้ป่วยเป็นโรคธาลัสซีเมียจำนวน 4 คน ซึ่งเป็นโรคทางพันธุกรรมที่เกิดจากยีนด้อยบนโครโมโซมร่างกาย (Autosomal Chromosome) อยากทราบว่าประชากรจังหวัดนี้มีคนที่เป็นพาหะของโรคกี่คน

วิธีทำ จากประชากร 10,000 คนมีคนแสดงอาการของโรค 4 คน ความถี่ของยีนด้อยเท่ากับ 0.0004

จะได้ว่า $q^2 = 0.0004$

$q = 0.02$

$p = 1 - q$ แทนค่าได้ $1 - 0.02 = 0.98$

จากสมการของฮาร์ดีและไวน์เบิร์ก $p^2 + 2pq + q^2 = 1$

จำนวนพาหะของโรค $= 2pq$ แทนค่าได้ $2(0.02)(0.98) = 0.0392$

เมื่อนำไปเทียบกับประชากร 10,000 คน จะมีคนเป็นพาหะเท่ากับ 392 คน

ตอบ 392 คน

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของยีน

- การคัดเลือกโดยธรรมชาติ
  - เป็นการทำให้ประชากรซึ่งมีลักษณะเหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมเท่านั้นที่จะสามารถดำรงชีพและมีลูกหลานต่อไปได้
    - >> ส่วนประชากรที่มีลักษณะไม่เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมก็จะลดลงและค่อยๆ สูญพันธุ์ไป
  - ถือเป็นการปรับพันธุกรรม (Genetic Adaptation) ที่ส่งผลให้...
    - >> อัลลีลบางลักษณะจะเพิ่มขึ้น และบางลักษณะจะลดลง
    - >> สิ่งมีชีวิตเกิดการปรับเปลี่ยนรูปร่าง สรีระ สี พฤติกรรมการใช้ชีวิตให้กลมกลืนกับสภาพแวดล้อม เช่น ตั๊กแตนที่สามารถเปลี่ยนสีให้กลมกลืนกับใบไม้ได้ ก็จะรอดจากการถูกสัตว์อื่นจับกิน
- การกลายพันธุ์หรือมิวเทชัน (Mutation)
  - เป็นการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตทั้งในระดับยีนและโครโมโซม จึงทำให้เกิดการกลายพันธุ์
  - การกลายพันธุ์อาจทำให้เกิดลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ดีขึ้นกว่าเดิมหรือแย่ลงกว่าเดิม
  - ต่างจากการคัดเลือกทางธรรมชาติตรงที่การกลายพันธุ์เป็นการสร้างประชากรที่มีพันธุกรรมขึ้นใหม่
    - >> อาจส่งผลให้เหมาะหรือไม่เหมาะกับสิ่งแวดล้อมก็ได้ แต่การคัดเลือกทางธรรมชาติจะคัดเฉพาะประชากรที่เหมาะสม
    - >> หากเหมาะสม ธรรมชาติจะทำการคัดเลือกเก็บไว้และอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของอัลลีล
- การเลือกคู่เพื่อผสมพันธุ์ แบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่

1) แบบสุ่ม (Random Mating)
   - เป็นแบบที่จะทำให้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ของยีนในประชากร ทำให้...
     - >> สมาชิกทุกตัวในประชากรมีโอกาสได้ผสมพันธุ์แบบเท่าเทียมกัน
     - >> ลดโอกาสที่จะทำให้อัลลีลบางตัวมีความถี่เพิ่มขึ้นหรือลดลงจนเกินไป
   - ส่วนใหญ่แล้วการเลือกคู่ผสมพันธุ์ในประชากรจะเป็นแบบนี้

2) แบบไม่สุ่ม (Non-Random Mating)
   - เกิดขึ้นจากการเลือกคู่ผสมพันธุ์กันในกลุ่มเดียวกันที่อาจทำให้
     - >> เกิดความไม่เท่าเทียม ลดโอกาสในการผสมพันธุ์ของสมาชิกกลุ่มอื่น
     - >> อัลลีลบางตัวมีความถี่สูงขึ้น คงที่ ลดลง และสูญหายไปในที่สุด

— การถ่ายเทเคลื่อนย้ายยีน (Gene Flow)

- เกิดจากการย้ายเข้าหรือออกของสมาชิกในประชากร ที่ส่งผลถึงระดับพันธุกรรม ทำให้สัดส่วนของอัลลีลเปลี่ยนไป
  >> เรียกผลของการย้ายเข้าหรือออกนี้ว่า ยีนโฟลว์ (Gene Flow)
- ยีนโฟลว์อาจเกิดได้จากการเคลื่อนย้ายยีนในแบบต่างๆ เช่น
  >> การอพยพย้ายที่อยู่ของประชากร
  >> การแพร่กระจายของละอองเรณู สปอร์ หรือเมล็ดไปยังที่อื่น
- ส่วนมากแล้วการอพยพเข้าหรือออกในประชากรขนาดใหญ่จะไม่ค่อยมีผลอะไร แต่ถ้าประชากรมีขนาดเล็กอาจส่งผลให้ยีนบางยีนหายไป ทำให้ไม่สามารถแลกเปลี่ยนยีนนั้นได้อีกหรือมีโอกาสน้อยที่จะเกิดขึ้น หรือ มีโอกาสที่จะทำให้มีบางยีนเพิ่มขึ้น และเพิ่มโอกาสในการแลกเปลี่ยนยีนนั้นมากเป็นพิเศษ
  >> ในที่สุดจะทำให้สัดส่วนอัลลีลของสมาชิกเหมือนกันเกือบหมดทั้งในประชากร
  >> สมาชิกในประชากรจะมีความแตกต่างกันน้อย คล้ายคลึงกันมากขึ้น

— การเปลี่ยนแปลงความถี่ยีนอย่างไม่เหมาะสม

- เป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดประชากรอย่างกะทันหัน คาดเดาไม่ได้ เรียกว่า เจเนติก ดริฟต์ (Genetic Drift)
- โดยสาเหตุเกิดจากความบังเอิญหรือสาเหตุอื่นที่ไม่ได้เกิดจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติ
- ถือเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสัดส่วนความถี่ของยีน
- ที่พบในธรรมชาติมี 2 สถานการณ์ ได้แก่

1) ผลกระทบจากผู้ก่อตั้ง (Founder Effect)

เป็นการอพยพแยกตัวออกมาของประชากรกลุ่มเล็กๆ หรือเพียงไม่กี่ตัวจากกลุ่มประชากรขนาดใหญ่ ทำให้เมื่อขยายพันธุ์เพิ่มประชากรที่เกิดขึ้นใหม่นั้นจะแตกต่างชัดเจนไปจากประชากรในกลุ่มเดิม

2) ปรากฏการณ์คอขวด (Bottleneck Effect)

เกิดจากการลดลงอย่างรวดเร็วของสมาชิกในประชากรขนาดใหญ่ที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรม

- โดยอาจมีสาเหตุมาจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรง ได้แก่
  >> ภัยธรรมชาติต่างๆ เช่น แผ่นดินไหว น้ำท่วม หรือไฟป่า
  >> การขาดแคลนทรัพยากรและอาหาร
  >> การเกิดโรคระบาดครั้งใหญ่

ส่งผลให้ประชากรที่อยู่รอดจากเหตุการณ์ครั้งนั้นมีการขยายพันธุ์ได้ประชากรที่แตกต่างไปจากเดิมรวมถึงทำให้ความหลากหลายทางพันธุกรรมลดลง

5. กำเนิดของสปีชีส์

สปีชีส์

- เป็นกลุ่มหรือประชากรของสิ่งมีชีวิตที่
  - มียีนพูลร่วมกัน
  - สมาชิกสามารถผสมพันธุ์และถ่ายทอดยีนให้กันได้
  - เมื่อมีลูกแล้ว ลูกไม่เป็นหมัน
  - เกิดการถ่ายเทเคลื่อนย้ายยีน (Gene Flow) ระหว่างกันได้
- แบ่งแนวคิดของสปีชีส์เป็น 2 ด้าน ได้แก่

1) สปีชีส์ทางด้านสัณฐานวิทยา
   - เป็นสปีชีส์ของสิ่งมีชีวิตที่มีโครงสร้างภายนอกหรือมีการทำงานคล้ายกัน

2) สปีชีส์ทางด้านชีววิทยา
   - เป็นสปีชีส์ของสิ่งมีชีวิตที่ผสมพันธุ์กันได้ และเมื่อมีลูกแล้ว ลูกที่ออกมาไม่เป็นหมัน
   - แต่ถ้าเป็นสิ่งมีชีวิตจากคนละสปีชีส์กัน ลูกที่ออกมาอาจเป็นหมันได้

กลไกการแบ่งแยกการสืบพันธุ์

- เป็นการป้องกันการผสมข้ามสายพันธุ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์เพราะจะไม่สามารถเกิดการถ่ายเทเคลื่อนย้ายยีนระหว่างกันได้
- แบ่งเป็น 2 ระยะ ได้แก่

1) กลไกการแบ่งแยกระยะก่อนไซโกต (Prezygotic Isolation Mechanisms)
   - เป็นกลไกการป้องกันไม่ให้เซลล์สืบพันธุ์ของ 2 สปีชีส์ที่อยู่คนละสปีชีส์กันมาสัมผัสกัน
   - โดยกลไกที่ว่าจะทำให้เกิดความแตกต่างของสิ่งเหล่านี้ ได้แก่
     - >> เวลาในการผสมพันธุ์ที่ต่างกัน (Temporal Isolation)
     - >> ที่อยู่อาศัยต่างกัน (Habitat Isolation)
     - >> พฤติกรรมการเกี้ยวพาราสีต่างกัน (Behavioral Isolation)
     - >> โครงสร้างอวัยวะสืบพันธุ์แตกต่างกัน (Mechanical Isolation)
     - >> เซลล์สืบพันธุ์แตกต่างกัน (Garnetic Isolation)

2) กลไกการแบ่งแยกระยะหลังไซโกต (Postzygotic Isolation Mechanisms)
   - เกิดเมื่อกลไกแรกไม่สามารถป้องกันการผสมพันธุ์ของสัตว์ต่างสปีชีส์ จนเกิดเป็นลูกผสม (Hybrid)

- กลไกนี้จะเป็นการป้องกันไม่ให้ลูกผสมเจริญเติบโตหรือสืบพันธุ์ต่อไปได้ โดยจะทำให้ลูกผสม...
  - >> ตายก่อนวัยเจริญพันธุ์ (Hybrid Inviability)
  - >> เป็นหมัน (Hybrid Sterility)
  - >> มีรุ่นลูกหลานเหลนที่ไม่แข็งแรง สืบพันธุ์ไม่ได้ (Hybrid Breakdown)

การทำให้เกิดสปีชีส์ใหม่ขึ้นมา แบ่งเป็น 2 กระบวนการ ได้แก่

1) วิวัฒนาการสายตรง (Phyletic Evolution หรือ Anagenesis)
   - เป็นการเปลี่ยนแปลงของสปีชีส์ที่มีอยู่แล้วแบบค่อยเป็นค่อยไปช้าๆ จนเกิดเป็นสปีชีส์ใหม่ขึ้นมา
   - เป็นเพียงการเปลี่ยนจากสปีชีส์หนึ่ง ไปเป็นอีกสปีชีส์เท่านั้น

2) การแยกแขนงสปีชีส์ (Speciation หรือ Cladogenesis)
   - เป็นการแตกแขนงของประชากรย่อยในสปีชีส์หนึ่ง ออกเป็น 2 หรือมากกว่า 2 สปีชีส์ใหม่
   - ทำให้เกิดความหลากหลายของสปีชีส์ (Species Diversity) และเกิดสปีชีส์จำนวนมากมาย
   - เกิดได้ 2 รูปแบบ คือ

     1) เกิดจากการแบ่งแยกทางภูมิศาสตร์ (Allopatric Speciation)
        - >> เป็นการแบ่งแยกจากธรรมชาติ เช่น แม่น้ำ ภูเขา ทำให้ประชากรในกลุ่มเดียวกัน
        - >> ต้องแยกกันอยู่ ไม่ได้มีการติดต่อกัน
        - >> แต่ละกลุ่มย่อยมีการเปลี่ยนพันธุกรรมไปตามการคัดเลือกโดยธรรมชาติ
        - >> เกิดความหลากหลาย จนกลายเป็นสปีชีส์ใหม่
        - >> แต่รูปแบบนี้จะเป็นไปอย่างช้าๆ อาจใช้เวลานานหลายพันรุ่น

     2) เกิดในเขตภูมิศาสตร์เดียวกัน (Sympatric Speciation)
        - >> เป็นการเปลี่ยนแปลงในระดับพันธุกรรมหรือโครโมโซมจนทำให้เกิดเป็นสปีชีส์ใหม่ขึ้นมา
        - >> ด้วยการทำให้สิ่งมีชีวิตเพิ่มจำนวนชุดของโครโมโซมครั้งละมากกว่า 2 ชุดขึ้นไป
          - → เรียกว่า โพลีพลอยดี (Polyploidy)
            - * ซึ่งมีความสำคัญในการทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตสปีชีส์ใหม่ขึ้น
            - * ส่วนมากจะพบในพืชได้มากกว่าในสัตว์
            - * โพลีพลอยดี ที่เกิดในพืชมี 2 แบบ คือ

1) ออโตพอลิพลอยดี (Autopolyploidy)

- เป็นการเพิ่มจำนวนชุดโครโมโซมที่เกิดจากพืชสปีชีส์เดียวกัน ที่แบ่งเซลล์ผิดปกติจนได้รุ่นลูกมีโครโมโซมเป็น 3 ชุด (3n) หรือ 4 ชุด (4n)

2) อัลโลพอลิพลอยดี (Allopolyploidy)

- เป็นการเพิ่มจำนวนชุดโครโมโซมจากพืชต่างสปีชีส์กันแต่สายวิวัฒนาการใกล้กัน
- จากการทดลองของคาร์ปีเชงโก (Karpechenko)

>> นำผักกาดแดง (2n = 18) กับกะหล่ำปลี (2n = 18) มาผสมกัน

→ ได้ลูกผสม F_1 เป็นหมัน

>> แต่บางครั้ง F_1 จะมีเซลล์สืบพันธุ์ที่จำนวนชุดของโครโมโซมเท่าเดิม

>> เวลาผสมกันก็จะได้ลูกผสมรุ่น F_2 ที่มีโครโมโซม 4n = 36 และไม่เป็นหมัน

→ ทำให้ได้พืชสปีชีส์ใหม่เพิ่มขึ้น

6. การเปลี่ยนแปลงทางสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อวิวัฒนาการ

วิวัฒนาการร่วมกัน (Coevolution)

- เป็นการวิวัฒนาการแบบพึ่งพาอาศัยร่วมกันของสิ่งมีชีวิต 2 ชนิด จนถึงจุดที่ทำให้สามารถอยู่ร่วมกันได้

  เช่น มีไวรัสที่เคยทำให้กระต่ายตายเป็นจำนวนมาก จึงเกิดการคัดเลือกโดยธรรมชาติให้เหลือเฉพาะ...

  - พันธุ์กระต่ายที่มีภูมิต้านทานเชื้อไวรัส
  - พันธุ์ไวรัสชนิดที่ไม่รุนแรง

  → ทำให้กระต่ายและไวรัสสามารถปรับตัวร่วมกันและวิวัฒนาการร่วมกันได้

การดื้อยาปฏิชีวนะ

- ถ้าแบคทีเรียบางสายพันธุ์ที่สามารถต่อต้านยาและอยู่รอดได้มีจำนวนมากขึ้น ยาที่มีอยู่ก็จะใช้ไม่ได้อีกต่อไป
- สาเหตุเกิดจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติในเชื้อแบคทีเรีย ที่จะคัดเลือกไว้เฉพาะสายพันธุ์ที่ไม่ตายด้วยยา
- ทำให้ต้องมีการคิดค้นยาปฏิชีวนะที่มีฤทธิ์รุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ

การดื้อสารฆ่าแมลง

- เช่นเดียวกันกับแบคทีเรีย แมลงบางตัวก็มียีนที่ต่อต้านสารฆ่าแมลง และส่งต่อยีนนี้ให้ลูกหลาน

7. วิวัฒนาการของมนุษย์

จำแนกหมวดหมู่ของมนุษย์แบบอนุกรมวิธานได้ ดังนี้

Kingdom อาณาจักร	Animalia สัตว์
Phylum ไฟลัม	Chordata คอร์ดาตา
Class ชั้น	Mammalia แมมมาเลีย
Order อันดับ	Primate ไพรเมต
Family วงศ์	Hominidae โฮมินิด หรือ ลิงใหญ่
Genus สกุล	Homo โฮโม
Species ชนิด	Homo sapiens โฮโม เซเปียนส์ หรือ มนุษย์

สัตว์ในอันดับไพรเมต (Order Primate)

- มีลักษณะ ดังนี้
  - เป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่มีนิ้วมือข้างละ 5 นิ้ว นิ้วหัวแม่มือพับขวางกับนิ้วอื่นได้ดี เล็บแบน ตาอยู่ชิดกันทำให้มองเห็นภาพเป็น 3 มิติ จมูกสั้น ขากรรไกรห้อยต่ำ และสมองมีขนาดใหญ่
- แบ่งออกเป็น 2 อันดับย่อย (Suborder) ได้แก่

1) ซับออเดอร์โพรซิมี (Suborder Prosimii)
   - เรียกว่า โพรซิเมียน (Prosimian) เป็นไพรเมตชั้นต่ำ ได้แก่ ลิงลม ลิงทาร์เซียร์ ตัวลีเมอร์

2) ซับออเดอร์ แอนโทรพอยเดีย (Suborder Anthropoidea)
   - เรียกว่า ซิเมียน (Simians) เป็นไพรเมตชั้นสูง แบ่งออกเป็น 3 ซูเปอร์แฟมิลี่ (Superfamily) ดังนี้

>> ซูเปอร์แฟมิลี่ซิบอยเดีย (Superfamily Ceboider) ได้แก่ ลิงมีหางโลกใหม่ (New World Monkey) เช่น ลิงคาปูชิน ลิงมาโมเซต เป็นต้น

>> ซูเปอร์แฟมิลี่เซอร์โคพิเทคอยเดีย (Superfamily Cercopithecoider) ได้แก่ ลิงมีหางโลกเก่า (Old World Monkey) เช่น ลิงกัง ลิงวอก เป็นต้น

>> ซูเปอร์แฟมิลี่โฮมินอยเดีย (Superfamily Hominoider) แบ่งเป็น 3 แฟมิลี่ ได้แก่

- แฟมิลี่ไฮโลบาทีดี (Family Hylobatidae) ได้แก่ ชะนี และเซียมัง
- แฟมิลี่ พองจิดี (Family Pongidae) ได้แก่ ชะนี อุรังอุตัง กอริลล่า และชิมแปนซี
- แฟมิลี่ โฮมินิดี (Family Hominidae) ได้แก่ มนุษย์ แบ่งออกเป็น 2 สกุล ได้แก่
  - → สกุลออสทราโลพิเทคัส (Genus Australopithecus) ได้แก่ เอป (Ape) มีลักษณะคล้ายมนุษย์
  - → สกุลโฮโม (Genus Homo) ได้แก่ มนุษย์ยุคโบราณจนถึงมนุษย์ปัจจุบัน

บรรพบุรุษของมนุษย์

— ออสทราโลพิเทคัส (Australopithecus)

- มีชีวิตเมื่อประมาณ 4.3 ล้านปีก่อน
- ค้นพบซากดึกดำบรรพ์ที่ประเทศเอธิโอเปีย และถูกตั้งชื่อว่าลูซี่ (Lucy)
- รูปร่างทางกายภาพที่สำคัญ เช่น
  - >> สมองมีขนาดพอๆ กับของลิงอุรังอุตัง กะโหลกเล็ก
  - >> ฟันและขากรรไกรใหญ่แต่ไม่มีคาง
  - >> ตัวไม่ใหญ่มาก สูงประมาณ 1 เมตร น้ำหนักน้อย เดินได้เกือบตรง
- มีความสามารถ เช่น
  - >> มีการเก็บผลไม้และเมล็ดพืชผลกินเป็นอาหาร
  - >> สามารถนำเอาสิ่งที่มีอยู่ตามธรรมชาติมาช่วย แต่ยังไม่มีการประดิษฐ์เป็นเครื่องมืออื่นๆ

— โฮโม แฮบิลิส (Homo Habilis)

- มีความหมายว่า 'มนุษย์ที่มีความสามารถในการใช้มือ'
- มีชีวิตเมื่อประมาณ 2 – 1.8 ล้านปีก่อน
- พบในบริเวณทวีปแอฟริกาใต้ และตะวันออก
- รูปร่างทางกายภาพที่สำคัญ เช่น
  - >> สมองใหญ่ประมาณครึ่งหนึ่งของมนุษย์ปัจจุบัน
  - >> ฟันและใบหน้ามีขนาดใหญ่

>> แขนยาวมากกว่าขา ใช้ 2 ขาในการเดิน
>> รูปร่างใหญ่พอสมควร
>> มีขนยาวตามตัวเหมือนลิง

- มีความสามารถ เช่น
  >> ใช้เครื่องมือหินแบบสับตัดในการแล่เนื้อสัตว์เป็นพวกแรก
  >> ใช้เครื่องมือกะเทาะหินแบบหยาบๆ

— โฮโม อีเร็กตัส (Homo erectus) มีความหมายว่า 'มนุษย์ที่ยืนตัวตรง' เพราะยืนได้ตรงมากกว่าบรรพบุรุษยุคก่อน

- มีชีวิตเมื่อประมาณ 1.4 ล้าน – 300,000 ปีก่อน
- พบได้ทั่วทั้งในบริเวณทวีปเอเชีย แอฟริกา และยุโรป
  >> พบครั้งแรกในเอเชียที่เกาะชวา ประเทศอินโดนีเซีย เรียกว่า มนุษย์ชวา
  >> ต่อมาพบที่ประเทศจีน เรียกว่า มนุษย์ปักกิ่ง
- รูปร่างทางกายภาพที่สำคัญ เช่น
  >> สมองใหญ่ขึ้นจนเกือบเท่ามนุษย์ปัจจุบัน
  >> กะโหลกหนา สันคิ้วโปนชัดเจน
  >> กระดูกหนาและแข็งแรง ทำให้มีรูปร่างใหญ่
  >> ผู้ชายตัวใหญ่กว่าผู้หญิง มีความชัดเจนถึงความแตกต่างทางเพศ
- มีความสามารถ เช่น
  >> ประดิษฐ์เครื่องมือหินที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น ขวานมือ กะเทาะสองหน้า
  >> ใช้ไฟในการดำรงชีวิต เช่น การทำอาหาร
  >> มีการเก็บอาหารจากป่าและล่าสัตว์

— โฮโม เซเปียนส์ (Homo sapiens) ที่สำคัญได้แก่

- มนุษย์ดีแอนเดอร์ทัล (Neanderthal Man)
  >> อยู่ในชับสปีชีส์ H. sapiens neanderthalensis
  >> มีชีวิตเมื่อประมาณ 200,000 – 30,000 ปีก่อน
  >> พบได้ทั่วทั้งในบริเวณตะวันออกกลาง ยุโรป แอฟริกา และประเทศจีน
  >> รูปร่างทางกายภาพที่สำคัญ เช่น
    → ขนาดสมองพอๆ กับมนุษย์ปัจจุบัน แต่รูปร่างเตี้ยกว่า
    → มีกระดูกคิ้วยื่นออกมา จมูกกว้าง และคางสั้น
    → มีน้ำหนักมากและมีความแข็งแรง
    → เดินได้ตรงแต่อาจยังดูคล้ายลิงอยู่
  >> มีความสามารถ เช่น

→ อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม ทำให้มีการล่าสัตว์ด้วยกัน

→ รู้จักใช้หินเป็นอาวุธ รวมถึงรู้จักไฟและนุ่งห่มด้วยหนังสัตว์

→ เริ่มมีการทำพิธีกรรมต่างๆ เช่น ฝังศพ แสดงให้เห็นถึงการมีวัฒนธรรม

- มนุษย์โครมันยอง (Cro-magnon Man)

>> อยู่ในชับสปีชีส์ H. sapiens sapiens ซึ่งเป็นสปีชีส์เดียวกันกับมนุษย์ในปัจจุบัน

>> มีชีวิตเมื่อประมาณ 40,000 – 20,000 ปีก่อน

>> รูปร่างทางกายภาพที่สำคัญ เช่น

→ ขนาดสมองพอๆ กับมนุษย์ปัจจุบัน กะโหลกใหญ่

→ ฟันและขากรรไกรไม่ยื่น มีคาง

>> มีความสามารถ

→ ด้านศิลปะและความสวยงาม เช่น ทำเครื่องประดับ วาดภาพตามถ้ำ และสลักกระดูก

→ ล่าสัตว์เก่ง จนเชื่อว่าทำให้สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมบางชนิดสูญพันธุ์ไป

→ ประดิษฐ์เครื่องมือที่ซับซ้อนและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ประวัตินักเขียน

พี่มุก

ภัทรมน วงศ์สังข์

ผู้ก่อตั้งเพจ Lecture de book และ
เจ้าของเลคเชอร์วิชาชีววิทยาที่น้องดาวน์โหลด
ไปอ่านกันเป็นจำนวนมาก
นักเรียนโครงการโอลิมปิกวิชาการ สอวน.
สาขาวิชาชีววิทยา รุ่น 12
จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก
โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ
ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ในระดับชั้นปริญญาตรี
คณะจิตวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

• • •

พี่ฟิว

ผัลย์ศุภา พรมแสง

ผู้ก่อตั้งเพจ Lecture de book
จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก
โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย จังหวัดสงขลา
ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ในระดับชั้นปริญญาตรี
คณะจิตวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

• • •

- สรุปเนื้อหาชีวะ ม.ปลาย ครบถ้วนแบบจัดเต็ม
- จัดลำดับตามความสำคัญของเนื้อหาแบบเป็นขั้นเป็นตอน
- อ่านง่าย พร้อมภาพประกอบคำอธิบายช่วยให้เข้าใจง่ายขึ้น และจดจำได้เร็วขึ้น
- เตรียมความพร้อมทบทวนบทเรียนก่อนสอบ

"เชื่อไหมว่า สมองจะทำงานได้ดีที่สุด เมื่อสมองทั้งสองซีกได้ทำงานไปพร้อมๆ กัน หนังสือเล่มนี้จึงเป็นหนังสือที่สร้างขึ้นมาอย่างเข้าใจสมอง โดยอาศัยความรู้ทางจิตวิทยา เราได้ผสานวิทยาศาสตร์และศิลปะให้เป็นหนึ่งเดียว ด้วยรูปวาด handmade และเนื้อหาที่ผ่านการกลั่นกรอง และร้อยเรียงให้เข้าใจง่ายเพื่อให้ง่ายต่อการอ่าน และง่ายต่อการทำความเข้าใจของสมองในมุมมองที่ว่า ภาพหนึ่งภาพแทนคำได้นับพันๆ คำ หวังว่าน้องๆ จะได้อ่านเพลิดเพลินไปกับหนังสือชีวะจากใจของพี่ๆ นะคะ"

พี่มุก & พี่ฟิว

หมวดคู่มือเตรียมสอบ
ISBN 978-616-8068-09-0
9 786168 068090
ราคา 299 บาท

GANBATTE
สำนักพิมพ์กัมบัตเตะ
สู่จุดหมาย...ไปด้วยกัน
www.ganbattehouse.com